This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci 1525.13.10

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SCIENCE CENTER LIBRARY

MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

CONGRÈS INTERNATIONAL

DES

ÉLECTRICIENS

PARIS 1881

COMPTES RENDUS DES TRAVAUX

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 120

1882

CONGRÈS INTERNATIONAL

DES

ÉLECTRICIENS

MINISTÈRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

CONGRÈS INTERNATIONAL

DES

ÉLECTRICIENS

PARIS 1881

COMPTES RENDUS DES TRAVAUX

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 120

1882

Sci 1525.13.10

HARVARD COLLEGE
Aug 12 1922
LIBRARY

DEGRAND FUND B

CONGRÈS INTERNATIONAL

DES

ÉLECTRICIENS

RAPPORT

AU

PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE

Monsieur le Président,

Des découvertes importantes et inattendues ont récemment appelé d'une façon particulière l'attention publique sur tout ce qui concerne l'électricité; en même temps l'industrie, s'emparant de ces conquêtes de la science, a depuis quelques années multiplié leurs applications dans toutes les branches; aujourd'hui aucune science ne semble devoir, plus que la science électrique, réaliser de rapides progrès, résoudre des problèmes intéressant la vie économique des nations, et rendre enfin à toutes nos relations d'inappréciables services.

L'électricité est restée longtemps un agent capricieux, inconstant, difficile à maîtriser, impossible à utiliser: avant Volta on constatait son action; on ne pouvait ni l'expliquer, ni la produire, ni, à plus forte raison, la mesurer.

La découverte de la pile et les perfectionnements que celle-ci a bientôt reçus, les travaux d'Ampère et d'Arago sur les courants et leur action magnétique, les recherches de Faraday sur l'induction, ont ouvert des voies nouvelles et fécondes dans lesquelles le progrès ne s'est plus arrêté.

La pile et l'action magnétique des courants ont créé la télégraphie. Le développement de la télégraphie a dégagé les phénomènes électriques des

obscurités qui les entouraient. C'est, en effet, sur les câbles sous-marins qu'il a été possible d'étudier et de découvrir les lois suivant lesquelles l'action électrique se développe et se propage.

L'électricité est une force. A mesure qu'on a appris à la connaître, on l'a rencontrée partout, tantôt cause, tantôt effet, dans les phénomènes physiques, chimiques, mécaniques et organiques. On a aujourd'hui différents moyens de la produire. On la mesure et on l'applique aux usages les plus divers. Elle a cette propriété particulière que ses effets peuvent se transmettre par des conducteurs métalliques plus facilement et plus loin que ne peuvent le faire ceux de la vapeur par les intermédiaires mécaniques.

Elle ne se borne plus à envoyer à distance des signes télégraphiques; elle reproduit les sons et la parole elle-même. Elle contribue à la sécurité de l'exploitation des chemins de fer; l'agriculture et la marine lui doivent des indications météorologiques de plus en plus utiles; elle éclaire les rues, les places publiques, les magasins, les ateliers. Elle devient pour les arts et l'industrie un auxiliaire universel.

Les savants et les industriels cherchent aujourd'hui, dans tous les pays du monde, à perfectionner les moyens de produire et d'utiliser la force nouvelle. Les résultats obtenus sont déjà considérables et nombreux, mais souvent encore insuffisants ou incomplets. Il y aurait grand intérêt à préciser l'état de la science électrique et de ses applications, à rapprocher et à comparer les procédés de recherches, afin d'imprimer aux efforts faits de toutes parts une direction qui les facilite et assure leur succès.

Les expositions internationales et les congrès scientifiques qui les complètent si utilement ont permis de montrer les applications pratiques à côté de la théorie. C'est ce qui nous conduit à vous proposer de réunir un Congrès international d'électriciens et d'autoriser simultanément une Exposition internationale d'électricité qui sera, pour ainsi dire, le laboratoire du Congrès. Cette Exposition comprendra tout ce qui concerne l'électricité; elle réunira les appareils de toute nature et de toute provenance servant à la faire naître, à la propager et à l'utiliser.

Le Congrès convoqué par le Gouvernement français appellera à Paris les électriciens les plus illustres. Ces représentants de la science merveilleuse, qui vient à peine de révéler l'immensité de ses ressources et qui déconcerte l'esprit par ses surprises incessantes, discuteront les résultats acquis et les idées nouvellement émises; ils grouperont et coordonneront leurs forces afin d'utiliser sûrement les observations faites dans chaque contrée et de s'aider mutuellement dans leurs investigations futures.

Les nations étrangères conviées par la France saisiront avec empres-

sement cette occasion de codifier, pour ainsi dire, la science électrique, et d'en sonder les profondeurs. Elles sauront gré au Gouvernement de la République française de s'être fait le promoteur d'une manifestation scientifique dont l'opportunité ne paraît pas contestable, et qui aura pour corollaire l'Exposition internationale d'électricité.

Le Congrès doit être l'œuvre du Gouvernement, car lui seul peut donner à l'entreprise le caractère d'indépendance qui est la condition essentielle du succès. Quant à l'Exposition, elle sera facilement organisée par l'initiative privée. Le patronage et le concours bienveillant de l'État lui seront toutefois assurés et le palais des Champs-Élysées sera mis gratuitement à la disposition de ses organisateurs.

L'action du Gouvernement se complétera par l'intermédiaire d'un Commissaire général qui aura à la fois la mission d'assurer, sous notre direction, le fonctionnement du Congrès et de surveiller les services généraux de l'Exposition.

Le Gouvernement désignera les membres français du Congrès : la science officielle, l'industrie, les sociétés savantes de Paris et des départements y auront leurs représentants. Si la présidence d'un Congrès appartient par tradition au pays où la réunion a lieu, la moitié des vice-présidences sera, par contre, réservée aux invités de la France.

L'Exposition internationale d'électricité sera ouverte le 1er août 1881 et close le 15 novembre suivant.

Les travaux du Congrès international des électriciens commenceront le 15 septembre 1881, dans les salles du palais du Trocadéro.

Le département dont relève le service des télégraphes est le plus directement intéressé dans la question. Son personnel prend une grande part à tout ce qui concerne l'électricité : il en étudie les diverses découvertes et en prépare les applications. Il est en relation avec tous les électriciens des divers pays. La télégraphie elle-même recueillera un grand profit de l'Fxposition et du Congrès; elle pourra y puiser de larges améliorations.

C'est dans cette pensée que j'ai fait préparer le projet de décret ci-joint et j'ai l'honneur de le soumettre à votre haute approbation.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de mon respectueux dévouement.

Le ministre des Postes et des Télégraphes,

AD. COCHERY.

DÉCRETS

Le Président de la République française,

Sur le rapport du Ministre des Postes et des Télégraphes,

Décrète :

Article premier. — Un Congrès international des électriciens sera ouvert à Paris, le 15 septembre 1881, sous la présidence du Ministre des postes et des télégraphes.

Art. 2. — Trois vice-présidents seront choisis parmi les membres français et trois parmi les membres étrangers du Congrès.

Art. 3. — Les ministres du Gouvernement de la République française et les ministres des gouvernements étrangers qui participeront au Congrès international sont membres de droit du Congrès.

Art. 4. — Le palais des Champs-Élysées sera mis gratuitement à la disposition de la Commission privée autorisée par le Gouvernement à organiser, à ses frais, risques et périls, une Exposition internationale d'électricité, du 1er août au 15 novembre 1881.

Art. 5. — L'Exposition internationale d'électricité est placée sous le patronage de l'État.

Art. 6. — Le règlement de l'exposition internationale d'électricité sera soumis à l'approbation du Gouvernement, qui nommera le Commissaire général.

Art. 7. — Le Ministre des Postes et des Télégraphes, le Ministre des Affaires étrangères et le Ministre des Travaux publics sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 23 octobre 1880.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

Ad. Cochery.

Le Ministre des Affaires étrangères,

Barthélemy Saint-Hilaire.

Le Ministre des Travaux publics,

Sadi Carnot.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu le décret en date de ce jour portant ouverture d'un Congrès international et d'une Exposition d'électricité ;

Sur le rapport du Ministre des Postes et des Télégraphes,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — M. Georges BERGER, ancien Directeur général des Sections étrangères à l'Exposition universelle de 1878, est nommé Commissaire général du Congrès international des électriciens et de l'Exposition internationale de l'électricité.

ART. 2. — Le Ministre des Postes et des Télégraphes est chargé de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 23 octobre 1880.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

AD. COCHERY.

PROJET DE LOI

PORTANT OUVERTURE AU MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES

SUR L'EXERCICE 1880

D'un crédit de 300,000 francs

POUR

L'EXPOSITION INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ

ET LE CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS

EXPOSÉ DES MOTIFS

Messieurs,

Un décret de M. le Président de la République, en date du 23 octobre 1880, a autorisé l'ouverture, à Paris, d'une Exposition internationale d'électricité, pour 1881, et décidé qu'un Congrès international des électriciens se réunirait simultanément.

Les motifs qui ont amené notre résolution sont exposés dans le rapport annexé au décret en ces termes :

« Des découvertes importantes et inattendues ont récemment appelé d'une façon particulière l'attention publique sur tout ce qui concerne l'électricité ; en même temps, l'industrie, s'emparant de ces conquêtes de la science, a depuis quelques années multiplié leurs applications dans toutes les branches ; aujourd'hui aucune science ne semble devoir, plus que la science électrique, réaliser de rapides progrès, résoudre des problèmes intéressant la vie économique des nations, et rendre enfin à toutes nos relations d'inappréciables services.

« L'électricité est restée longtemps un agent capricieux, inconstant, difficile à maîtriser, impossible à utiliser : avant Volta, on constatait son action ; on ne pouvait ni l'expliquer, ni la produire, ni, à plus forte raison, la mesurer.

« La découverte de la pile et les perfectionnements que celle-ci a bientôt reçus, les travaux d'Ampère et d'Arago sur les courants et leur action magnétique, les recherches de Faraday sur l'induction, ont ouvert des voies nouvelles et fécondes dans lesquelles le progrès ne s'est plus arrêté.

« La pile et l'action magnétique des courants ont créé la télégraphie. Le développement de la télégraphie a dégagé les phénomènes électriques des obscurités qui les entouraient. C'est, en effet, sur les câbles sous-marins qu'il a été possible d'étudier et de découvrir les lois suivant lesquelles l'action électrique se développe et se propage.

« L'électricité est une force. A mesure qu'on a appris à la connaître, on l'a rencontrée partout, tantôt cause, tantôt effet, dans les phénomènes physiques, chimiques, mécaniques et organiques. On a aujourd'hui différents moyens de la produire. On la mesure et on l'applique aux usages les plus divers. Elle a cette propriété particulière que ses effets peuvent se transmettre par des conducteurs métalliques plus facilement et plus loin que ne peuvent le faire ceux de la vapeur par les intermédiaires mécaniques.

« Elle ne se borne plus à envoyer à distance des signes télégraphiques; elle reproduit les sons et la parole elle-même. Elle contribue à la sécurité de l'exploitation des chemins de fer; l'agriculture et la marine lui doivent des indications météorologiques de plus en plus utiles; elle éclaire les rues, les places publiques, les magasins, les ateliers. Elle devient pour les arts et l'industrie un auxiliaire universel.

« Les savants et les industriels cherchent aujourd'hui, dans tous les pays du monde, à perfectionner les moyens de produire et d'utiliser la force nouvelle. Les résultats obtenus sont déjà considérables et nombreux, mais souvent encore insuffisants ou incomplets. Il y aurait un grand intérêt à préciser l'état de la science électrique et de ses applications, à rapprocher et à comparer les procédés de recherches, afin d'imprimer aux efforts faits de toutes parts une direction qui les facilite et assure leur succès.

« Les expositions internationales et les congrès scientifiques qui les complètent si utilement ont permis de montrer les applications pratiques à côté de la théorie. C'est ce qui nous conduit à vous proposer de réunir un Congrès international d'électriciens et d'autoriser simultanément une Exposition internationale d'électricité qui sera, pour ainsi dire, le laboratoire du Congrès. Cette exposition comprendra tout ce qui concerne l'électricité : elle réunira les appareils de toute nature et de toute provenance servant à la faire naître, à la propager et à l'utiliser.

« Le Congrès convoqué par le Gouvernement français appellera à Paris les électriciens les plus illustres. Ces représentants de la science merveilleuse qui vient à peine de révéler l'immensité de ses ressources et qui déconcerte l'esprit par ses surprises incessantes discuteront les résultats acquis et les idées nouvellement émises; ils grouperont et coordonneront leurs forces afin d'utiliser sûrement les observations faites dans chaque contrée et de s'aider mutuellement dans leurs investigations futures.

« Les nations étrangères conviées par la France saisiront avec empressement cette occasion de codifier, pour ainsi dire, la science électrique, et d'en sonder les profondeurs. Elles sauront gré au Gouvernement de la République française de s'être fait le promoteur d'une manifestation scientifique dont l'opportunité ne paraît pas contestable, et qui aura pour corollaire l'Exposition internationale d'électricité. »

Nous avions arrêté d'abord de confier l'Exposition à l'industrie privée. Nous avons bientôt compris que cette mesure ferait hésiter nos industriels à se présenter à l'Exposition, surtout ceux qui appartiennent aux nations étrangères. Pour que l'Exposition ait toute son ampleur et tout son éclat, il faut qu'elle soit directement organisée par le Gouvernement.

Une association confiante dans le succès de l'œuvre s'est, du reste, présentée pour garantir la perte.

Les souscripteurs ont voulu témoigner de leur désintéressement et du sentiment patriotique qui les anime, car, s'ils consentent à courir des risques, ils

renoncent à tous bénéfices, et si, comme tout le fait espérer, les recettes dépassent les dépenses, l'excédent sera employé à une œuvre scientifique d'intérêt général.

Néanmoins le Gouvernement ne saurait s'en désintéresser, et nous vous demandons de vouloir bien autoriser la participation de l'État jusqu'à concurrence de cent cinquante mille francs.

Quant au Congrès, il doit être sous la responsabilité unique de l'État. C'est à ce titre que nous vous demandons de vouloir bien ouvrir un crédit destiné à couvrir les frais généraux du Congrès, les expériences auxquelles il sera nécessaire de procéder, l'impression des rapports, les frais divers, etc. Ces dépenses sont évaluées à 150,000 francs.

Ces crédits, s'élevant au total à 300,000 francs, seront imputés au budget de l'exercice 1880.

PROJET DE LOI

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

DÉCRÈTE :

Le projet de loi dont la teneur suit sera présenté à la Chambre des Députés par le Ministre des Postes et des Télégraphes et par le Ministre des Finances, qui sont chargés d'en exposer les motifs et d'en soutenir la discussion :

ARTICLE PREMIER. — Le Ministre des Postes et des Télégraphes est autorisé à contribuer, à titre de subvention pour le compte de l'État et pour une somme de 150,000 francs, aux frais de l'Exposition internationale d'électricité de 1881.

ART. 2. — Il est ouvert au Ministre des Postes et des Télégraphes sur l'exercice 1880, au delà des crédits ouverts par la loi de finances du 21 décembre 1879, un crédit extraordinaire de 300,000 francs qui sera classé à la 2e section aux chapitres ci-après :

Chapitre IX septies : Subvention de l'État à l'Exposition internationale d'électricité..	150,000 fr.
Chapitre IX octies : Dépenses du Congrès international des Électriciens	150,000 »
Total.	300,000 fr.

Il sera pourvu aux crédits ci-dessus au moyen des ressources générales du budget ordinaire de 1880.

ART. 3. — Les actes à réaliser, soit par le Ministre des Postes et des Télégraphes, soit par le Commissaire général, à raison du Congrès et

de l'Administration de l'Exposition d'électricité, seront dispensés du timbre et enregistrés gratis lorsqu'il y aura lieu à l'enregistrement.

Fait à Paris, le 6 décembre 1880.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

AD. COCHERY.

Le Ministre des Finances,

J. MAGNIN.

RAPPORT

FAIT AU NOM DE LA COMMISSION DU BUDGET

PAR

M. CROZET-FOURNEYRON

Député.

Messieurs,

Dans un rapport à M. le Président de la République, M. le Ministre des Postes et des Télégraphes a fait ressortir les avantages qui pouvaient résulter, pour tous, de l'ouverture d'une Exposition internationale d'électricité et de la convocation d'un Congrès international des électriciens.

Un décret du 3 octobre dernier a consacré ces deux idées, en autorisant le Ministre à présenter à la Chambre le projet de loi dont vous êtes saisis.

Tout le monde est frappé des progrès considérables qui ont été réalisés et des résultats déjà acquis dans cette branche des sciences physiques, et on attend d'elle plus encore qu'elle n'a donné. Chaque jour les savants observent des phénomènes nouveaux, en recherchent les causes, créent des théories, pendant que d'ingénieux constructeurs réalisent par des organes mécaniques nouveaux, ou par des combinaisons nouvelles d'organes déjà connus, de merveilleuses machines qu'ils essayent de plier à mille applications diverses.

Hier encore, ces machines, tout ingénieuses qu'elles fussent, n'étaient que des appareils de laboratoire servant à l'enseignement, à la démonstration, aux expériences, aux recherches.

Aujourd'hui elles rendent à l'État, aux grandes administrations, à l'industrie, aux particuliers, les plus précieux, les plus indispensables services.

Il suffit, pour s'en convaincre, de parcourir le champ des applications déjà faites :

A la télégraphie et à la téléphonie ;

A l'éclairage public et privé, phares, signaux ;

A la transmission des signaux qui assurent la sécurité dans l'exploitation des chemins de fer, des mines, d'un grand nombre d'industries ;

A l'étude des sciences physiques et chimiques ;

A l'art militaire ;

A la galvanoplastie ;

Aux beaux-arts ;

Aux arts mécaniques, à l'horlogerie ;

A la médecine et à la chirurgie ;

A la transmission instantanée des observations météorologiques si utiles à l'agriculture et à la navigation ;

Enfin les mille applications aux usages domestiques.

Autant de branches d'une science qui date de quelques années, branches qui s'étendent chaque jour et sur lesquelles viennent chaque jour se greffer des branches nouvelles.

Mais si nous constatons avec bonheur ce mouvement fécond, cet entraînement qui porte savants et inventeurs à l'étude de ces questions si intéressantes qui sollicitent leurs efforts, il faut malheureusement reconnaître que ces efforts sont restés jusqu'à présent trop disséminés, trop isolés, et qu'il y a dans cet isolement une raison évidente d'impuissance, de stérilité au moins relative.

Pour que chacun de ces laborieux pionniers dirigeât ses travaux avec méthode et surtout avec fruit, il faudrait qu'il connût bien, pour les utiliser au besoin, les travaux de ceux qui ont étudié ou étudient les mêmes questions, avant lui ou à côté de lui.

Or on ne peut compter, pour cela, ni sur les communications aux corps savants qui ont trop peu de retentissement, ni sur des publications périodiques, ni sur les ouvrages spéciaux de quelque étendue, déjà vieillis avant d'être achevés en ce temps de fiévreuse production, ouvrages et publications qui ne sont consultés, du reste, que par quelques lecteurs privilégiés.

D'autre part, si on compte sur la publicité faite par les inventeurs eux-mêmes, les bruyantes réclames du charlatanisme étoufferont le plus souvent la voix des inventeurs modestes.

C'est à ce besoin véritable de propagation, de vulgarisation et de sélection que vient répondre ce double projet d'une Exposition d'électricité et d'un Congrès d'électriciens fonctionnant simultanément.

L'Exposition va appeler, produire, grouper, opposer tous les appareils inventés en France et à l'étranger, les uns connus déjà et utilisés dans une pratique journalière, les autres à l'état rudimentaire, d'autres enfin qui n'existent même pas à l'heure où nous parlons.

Quant au rôle du Congrès, il se trouve tracé dans le passage suivant du rapport au Président de la République :

« Le Congrès convoqué par le Gouvernement français appellera à Paris les électriciens les plus illustres. Ces représentants de la science merveilleuse qui vient à peine de révéler l'immensité de ses ressources et qui déconcerte l'esprit par ses surprises incessantes discuteront les résultats acquis et les idées nouvellement émises ; ils grouperont et coordonneront leurs forces afin d'utiliser sûrement les observations faites dans chaque contrée et de s'aider mutuellement dans leurs investigations futures.

« Les nations étrangères saisiront avec empressement cette occasion unique de codifier, pour ainsi dire, la science électrique et d'en sonder les profondeurs. »

Vous voyez, Messieurs, les magnifiques résultats qu'on peut attendre d'une entreprise de cette nature.

Pour provoquer efficacement cette grande manifestation au profit de la science électrique, il faut qu'un Gouvernement prenne l'initiative de la convocation internationale.

C'est à la République française que revenait cet honneur.

Et quel pays y pourrait plus légitimement prétendre que celui des Ampère et des Arago?

Quel moment serait mieux choisi que celui où se produit, au milieu d'une paix profonde, cet irrésistible élan de tous les chercheurs, théoriciens et praticiens, à la conquête de méthodes et de moyens nouveaux?

Mais si l'initiative et le patronage du Gouvernement sont indispensables pour une œuvre de cette ampleur, le Ministre qui l'a préparée n'a pas voulu que le Gouvernement en courût seul les risques. A son invitation, un groupe de citoyens s'est formé pour la constitution d'un capital de garantie.

Ce capital est déjà à présent souscrit, et les souscripteurs se sont engagés par contrat formel à n'élever jamais aucune prétention sur les bénéfices qui pourraient résulter de l'entreprise ; l'excédent des recettes sur les dépenses sera consacré intégralement à une ou plusieurs œuvres scientifiques d'intérêt général.

Mais l'opération étant ainsi assurée, le Gouvernement de la République ne saurait s'en désintéresser, et il vous propose de fixer à 300,000 francs la coopération de l'État à cette œuvre éminemment patriotique. Cette somme sera affectée à couvrir en partie les frais de l'Exposition, les frais du Congrès, les impressions et les dépenses diverses.

En conséquence, nous avons l'honneur de vous proposer d'approuver le projet de loi dont la teneur suit :

PROJET DE LOI

Article premier. — Le Ministre des Postes et des Télégraphes est autorisé à contribuer, à titre de subvention pour le compte de l'État et pour une somme de 200,000 francs, aux frais de l'Exposition internationale d'électricité de 1881.

Art. 2. — Il est ouvert au Ministre des Postes et des Télégraphes sur l'exercice 1880, au delà des crédits ouverts par la loi de finances du 21 décembre 1879, un crédit extraordinaire de 300,000 francs qui sera classé à la 2e section aux chapitres ci-après :

Chapitre IX septies : Subvention de l'État à l'Exposition internationale d'électricité	200,000 fr.
Chapitre IX octies : Dépenses du Congrès international des électriciens	100,000 »
Total	300,000 fr.

Il sera pourvu aux crédits ci-dessus au moyen des ressources générales du budget ordinaire de 1880.

Art. 3. — Les actes à réaliser, soit par le Ministre des Postes et des Télégraphes, soit par le Commissaire général, à raison du Congrès et de l'Administration de l'Exposition d'électricité, seront dispensés du timbre et enregistrés gratis lorsqu'il y aura lieu à l'enregistrement.

Ce projet de loi a été voté le 13 décembre 1880 par la Chambre des Députés et transmis au Sénat le 14 décembre 1880.

PROJET DE LOI

ADOPTÉ PAR LA CHAMBRE DES DÉPUTÉS

ET TRANSMIS AU SÉNAT

EXPOSÉ DES MOTIFS

Le Gouvernement a présenté, le 6 décembre 1880, à la Chambre des Députés, un projet de loi portant ouverture au Ministre des Postes et des Télégraphes, sur l'exercice 1880, d'un crédit de 300,000 francs pour l'Exposition internationale d'électricité et le Congrès international des électriciens.

La Chambre des Députés a adopté ce projet de loi, et nous avons l'honneur aujourd'hui de le soumettre à vos délibérations.

D'accord avec le Gouvernement, la Commission du budget a augmenté de 50,000 francs le crédit affecté à l'Exposition d'électricité, et diminué de la même somme le crédit du Congrès international des électriciens.

Le Gouvernement n'a rien à ajouter à l'exposé des motifs qui a été distribué au Sénat en même temps qu'à la Chambre des Députés.

Le Président de la République française

Décrète :

Le projet de loi dont la teneur suit sera présenté au Sénat par le Ministre des Postes et des Télégraphes et par le Ministre des Finances, qui sont chargés d'en exposer les motifs et d'en soutenir la discussion.

PROJET DE LOI

Article premier. — Le Ministre des Postes et des Télégraphes est autorisé à contribuer, à titre de subvention, pour le compte de l'État et pour

une somme de 200,000 francs, aux frais de l'Exposition internationale d'électricité de 1881.

Art. 2. — Il est ouvert au Ministre des Postes et des Télégraphes sur l'exercice 1880, au delà des crédits ouverts par la loi de finances du 21 décembre 1879, un crédit extraordinaire de trois cent mille francs (300,000 fr.) qui sera classé à la 2e section, aux chapitres ci-après :

Chapitre IX septies : Subvention de l'État à l'Exposition internationale d'électricité	200,000 fr.
Chapitre IX octies : Dépenses du Congrès international des électriciens	100,000 »
Total	300,000 fr.

Il sera pourvu aux crédits ci-dessus au moyen des ressources générales du budget ordinaire de 1880.

Art. 3. — Les actes à réaliser, soit par le Ministre des Postes et des Télégraphes, soit par le Commissaire général, à raison du Congrès et de l'Administration de l'Exposition d'électricité, seront dispensés du timbre et enregistrés gratis lorsqu'il y aura lieu à l'enregistrement.

Fait à Paris, le 14 décembre 1880.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,
Ad. Cochery.

Le Ministre des Finances,
J. Magnin.

RAPPORT

FAIT AU NOM DE LA COMMISSION DES FINANCES

PAR

M. FOUCHER DE CAREIL

Sénateur.

Messieurs,

M. le Ministre des Postes et des Télégraphes a pris l'initiative d'un Congrès international des électriciens et mis sous le patronage de l'État une exposition d'électricité en 1881.

C'est, pour l'avenir de la science et pour le rôle scientifique de la France, une mesure de la plus sérieuse importance. Elle a été jugée telle par ceux qu'elle intéresse en première ligne, je veux parler de nos savants électriciens. Tous ont reconnu qu'elle répondait à un besoin démontré de notre époque.

Voici comment s'exprime l'un d'entre eux sur ce sujet :

« Depuis quarante années environ que la science électrique a pris l'admirable essor que l'on sait, des travaux innombrables se sont amassés. Tant qu'ils se sont maintenus dans le domaine purement théorique, il n'y avait qu'un médiocre inconvénient à les laisser se produire isolément ; la notoriété publique, la discussion des sociétés savantes, l'enregistrement dans les diverses publications suffisaient à former un corps de doctrines de ces éléments épars. Mais depuis vingt années, de la science est née une industrie, et certes de premier ordre ; elle va tous les jours s'avançant à pas de géant dans la voie des applications utiles. Dès lors, de nouvelles nécessités s'imposent. Il faut un langage universellement entendu ; il faut un système de mesures précis et reconnu comme faisant loi pour tous. Sur ces points, il y a des travaux de la plus haute valeur ; mais leurs auteurs, hommes ou sociétés, ne pouvaient avoir l'autorité nécessaire pour amener sur leurs propositions l'accord universel indispensable. Il fallait la discussion et le consentement de tous les hommes compétents, dûment appelés et autorisés : il fallait un Congrès. »

Du moment que la nécessité du Congrès dit électricien était reconnue, l'Exposition s'imposait, et elle s'imposait avec le double caractère d'universalité et de spécialité que le Gouvernement a entendu lui donner et qui en garantit le succès.

En prenant un caractère d'universalité absolue, l'Exposition, dans le cas actuel, comme le dit exactement le rapport du ministre, devient le « laboratoire du Congrès ». Par la spécialité, en l'éloignant du contact d'industries moins fines et de la promiscuité bruyante des gros bataillons de nos exhibitions universelles, elle concentre la pensée de la France et du monde scientifique sur le point précis qu'il importe d'élucider : je veux dire la comparaison des découvertes et la valeur exacte des applications.

L'exposition des appareils d'électricité les plus anciens et les plus nouveaux fera particulièrement ressortir les progrès accomplis pendant les quarante dernières années, et ne pourra que stimuler encore davantage l'esprit d'invention.

La comparaison des moyens employés par les diverses nations pour produire, transmettre ou appliquer cette précieuse force, quelque analogues qu'ils puissent être dans leur principe, présentera un grand intérêt dans les détails et pourra donner lieu aux études les plus fructueuses. Qui sait même si le Congrès, ainsi rapproché de cette exposition, ne contribuera pas à faciliter la solution du grand problème que se posent les savants sur la nature de cette force mystérieuse que l'on arrive aujourd'hui à produire à volonté, à transformer en ses diverses variétés, à convertir en chaleur et en lumière et même à emmagasiner ! La philosophie des sciences s'enrichirait ainsi de sa principale découverte avant la fin de ce siècle qu'on a appelé souvent le siècle de la vapeur et de l'électricité.

Aussi ceux mêmes qui, sans méconnaître les progrès accomplis, ont des doutes sur la place que nous y occuperons, ont reconnu l'utilité du Congrès et de l'Exposition.

En effet, ces doutes fussent-ils justifiés, — et nous ne croyons pas qu'ils le soient, — nous serions encore d'avis qu'il faut le savoir et qu'une grande

enquête est nécessaire sur ce point, comme sur les autres. L'industrie française doit beaucoup à la science des électriciens français, mais si elle est obligée désormais d'emprunter une notable part de ses progrès à nos rivaux, il faut que nous le sachions. Les savants français, ainsi mis en contact avec leurs confrères du monde entier, verront mieux ce qui leur manque. Peut-être en résultera-t-il cette conviction qu'aujourd'hui dans les sciences, comme autrefois dans les arts, il se fait un continuel échange et de soudains déplacements de supériorité tels qu'aucun pays ne peut se vanter de tenir longtemps le sceptre scientifique. La lumière nous vient, dit-on, de l'extrême ouest, et l'exportation scientifique devient, avec celle des blés, une des branches les plus actives du commerce américain. Nous voulons le croire, mais, pour que la démonstration soit complète, il faut cette consécration supérieure que donne seul le témoignage universel.

On le voit, tout concourt à la nécessité d'une grande et décisive enquête et au succès de cette double épreuve. Si le Congrès doit fixer la langue électrique universelle, l'Exposition est nécessaire comme laboratoire du Congrès et comme pierre de touche des inventions. La science et l'industrie la réclament également : la première pour empêcher une déperdition de force, diriger cette masse d'efforts et synthétiser, s'il se peut, le progrès lui-même; la seconde pour ne pas absorber la science elle-même, et raisonner d'accord avec elle l'emploi de sa nouvelle puissance. C'est à la science de nous guider vers les sources encore inexplorées d'un avenir auquel on ne voit plus de limites. Mais l'industrie peut seule mettre ces forces à notre service, les domestiquer en quelque sorte, faire l'éducation de l'œil et de l'oreille appelés à décupler, à centupler leur champ d'action. Il y a là une alliance nécessaire, indissoluble, que le Congrès et l'Exposition ont pour but de constater et de fortifier.

Dans ces conditions, le Gouvernement, après avoir arrêté d'abord de confier l'Exposition à l'industrie privée, a pensé qu'il devait faire appel au concours des deux Chambres pour l'obtention, sur l'exercice 1880, d'un crédit de 300,000 francs, destiné à l'Exposition et au Congrès. Ce crédit devra être employé jusqu'à concurrence de 200,000 francs à payer la participation de l'État à l'Exposition, et pour les 100,000 francs restant à couvrir les frais généraux du Congrès.

La Chambre des Députés a voté ce crédit dans sa séance du 16 décembre 1880, sans modification.

Votre commission des finances estime que la demande de crédit est justifiée par les considérations que nous avons l'honneur d'exposer plus haut. Elle est d'avis que le Sénat peut voter ce crédit et l'imputer au budget de l'exercice 1880.

En conséquence, elle a l'honneur de vous proposer d'adopter le projet de loi dont la teneur suit.

PROJET DE LOI

Article premier. — Le Ministre des Postes et des Télégraphes est autorisé à contribuer, à titre de subvention, pour le compte de l'État et pour une somme de 200,000 francs, aux frais de l'Exposition internationale d'électricité de 1881.

Art. 2. — Il est ouvert au Ministre des Postes et des Télégraphes, sur l'exercice 1880, au delà des crédits ouverts par la loi de finances du 21 décembre 1879, un crédit extraordinaire de trois cent mille francs (300,000 fr.) qui sera classé à la 2e section, aux chapitres ci-après :

Chapitre IX septies : Subvention de l'État à l'Exposition internationale d'électricité	200,000 fr.
Chapitre IX octies : Dépenses du Congrès international des électriciens	100,000 »
Total	300,000 fr.

Il sera pourvu aux crédits ci-dessus au moyen des ressources générales du budget ordinaire de 1880.

Art. 3. — Les actes à réaliser, soit par le Ministre des Postes et des Télégraphes, soit par le Commissaire général, à raison du Congrès et de l'Administration de l'Exposition d'électricité, seront dispensés du timbre et enregistrés gratis lorsqu'il y aura lieu à l'enregistrement.

Ce projet de loi a été adopté par le Sénat dans sa séance du 20 décembre 1880.

Il a été promulgué le 17 janvier 1881.

LISTE DES MEMBRES DU CONGRÈS

Allemagne (Empire d').

S. A. l'Ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire de l'Empire d'Allemagne à Paris.

MM. le Dr Brix, ingénieur des Télégraphes, à Berlin.
le Dr du Bois Reymond, professeur, conseiller intime, à Berlin.
le Dr Clausius, conseiller intime, à Bonn.
Elsasser, conseiller supérieur du Département des postes germaniques, commissaire de l'Empire d'Allemagne à l'Exposition internationale d'électricité, à Berlin.
Förster, professeur, directeur de l'Observatoire de Berlin.
de Gentzkow, attaché militaire à l'ambassade d'Allemagne, à Paris.
le Dr Helmholtz, professeur, conseiller intime du Gouvernement, à Berlin.
le Dr Hittorf, professeur, à Munster.
le Dr Kirchhoff, professeur, conseiller intime, à Berlin.
le Dr Siemens (Werner), conseiller intime du Gouvernement, à Berlin.
le Dr Voller, directeur de l'Institut de physique, à Hambourg.
le Dr G. Wiedemann, professeur, conseiller aulique, à Leipzig.
le Dr de Zech, professeur, à Stuttgart.
de Ziemssen, professeur, membre du Conseil supérieur de médecine, à Munich.

Argentine (Confédération).

MM. l'Envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de la Confédération Argentine à Paris.
le colonel Mansilla (Lucio-Victorio), agent militaire de la République en Europe.

Autriche (Empire d').

S. E. l'Ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire d'Autriche-Hongrie à Paris.

MM. le Dr Mach, professeur à l'Université de Prague, membre de l'Académie des sciences de Vienne.
le Dr Hermann Militzer, conseiller de section au ministère Impérial et Royal du commerce, membre correspondant de l'Académie des sciences de Vienne.

Belgique (Royaume de).

MM. l'Envoyé extraordinaire et Ministre plénipotentiaire de Belgique à Paris.
Banneux (J.), ingénieur en chef des Télégraphes de l'État, membre de la Commission belge, à Bruxelles.
Barlet (A.), ingénieur en chef, chef du service de l'éclairage et du chauffage aux chemins de fer de l'État, à Bruxelles.
Bastings (A.), docteur en médecine, membre de la Commission belge, à Bruxelles.
Bède (E.), ingénieur, membre de la Commission belge, à Bruxelles.
Belpaire (A.), administrateur des chemins de fer de l'État, à Bruxelles.
Bergé (H.), membre de la Chambre des représentants, professeur de chimie à l'Université libre de Bruxelles, à Bruxelles.
Delarge (F.), ingénieur en chef, directeur des Télégraphes de l'État, à Bruxelles.
Flamache (A.), ingénieur à l'Administration des chemins de l'État, professeur de construction de chemins de fer, à l'École du génie civil, à Gand.
Fourcault (F.), administrateur de la Compagnie des bronzes, membre de la Commission belge, à Bruxelles.
Gérard (E.), sous-ingénieur des Télégraphes de l'État, secrétaire du commissariat de Belgique, à Bruxelles.
Gilbert (P.), professeur à l'Université de Louvain, à Louvain.
Mlle Gloesener (A.), à Liège.
MM. Gody (L.), capitaine d'artillerie, professeur de physique et de chimie à l'École de guerre, à Bruxelles.
Gramme (Z.), à Paris.
Jaspar (J.), constructeur, membre de la Commission belge, à Liège.
Jouret (Th.), professeur de chimie appliquée à l'École militaire, à Bruxelles.
Le Boulengé (P.), lieutenant-colonel de l'état-major de l'artillerie, membre de la Commission belge, à Liège.
Malevé (Ch.), capitaine en premier du génie, commandant de la Compagnie des télégraphistes de campagne, membre de la Commission belge, à Bruxelles.
Maus (H.), membre de l'Académie royale des sciences, directeur général de l'Administration des ponts et chaussées et des mines, à Bruxelles.
Montefiore-Levi (G.), ingénieur civil, vice-président de la Commission belge, à Bruxelles.
Montigny (C.), membre de l'Académie royale des sciences, à Bruxelles.
Neujean (A.), ingénieur chimiste, à Liège.
Pérard (L.), professeur à l'Université de Liège, à Liège.
Rau (Ed.), ingénieur civil, membre de la Commission belge, à Bruxelles.
Rommelaere (L.), chimiste, membre de la Commission belge, à Bruxelles.
Rousseau (C.), professeur à l'Université libre de Bruxelles et à l'École militaire, à Bruxelles.
Somzée (L.), ingénieur honoraire des Mines, vice-président de la Commission belge, à Bruxelles.
Valérius (H.), professeur à l'Université de Gand, à Gand.

MM. Van den Kerchove (P.), sénateur, président de la Commission belge de l'Exposition internationale d'électricité, à Gand.
Van Rysselberghe (F.), météorologiste à l'Observatoire royal de Bruxelles, membre de la Commission belge, à Bruxelles.
Witmeur (H.), ingénieur de l'Administration des ponts et chaussées et des mines, à Bruxelles.

Brésil (Empire du).

MM. l'Envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Brésil à Paris.
Jamin, membre de l'Institut, à Paris.

Colombie (États-Unis de la).

MM. l'Envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire des États-Unis de la Colombie à Paris.
Triana (José), naturaliste, consul général de Colombie à Paris.

Costa-Rica (République de).

MM. Peralta (Manuel de), envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de la république de Costa-Rica à Paris.
de Linares (Augusto-Gonzales).
Somzée (Léon).

Danemark (Royaume de).

MM. l'Envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Danemark à Paris.
le capitaine Johnke, sous-chef au Corps des mines maritimes.
Lorentzen (V.), ingénieur des Télégraphes de l'État, à Copenhague.
le capitaine Lund, sous-chef au Corps des mines maritimes.

Espagne (Royaume d').

S. E. l'Ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire d'Espagne à Paris.
MM. Arantave (Enrique), inspecteur général des Télégraphes, à l'île de Cuba.
Bofill (Pedro), employé des Télégraphes.
Camerma y Batalla (Andres), inspecteur des ingénieurs de la marine.
Cortazar (Daniel de), ingénieur des Mines.
Gil y Maestre (Amalio), ingénieur des Mines.
Morer (José), ingénieur-directeur du canal de Isabelle II, à Madrid.
Orduña y Muñoz (Carlos), directeur de première classe des Télégraphes, commissaire d'Espagne à l'Exposition dé'lectricité.
Pedroso (Carlos), licencié de la Faculté des sciences.
Perez de la Sala (Pedro), ingénieur-professeur à l'École des ponts et chaussées.
Roïg (Torres), à Barcelone.
Simarro (Luis), docteur en médecine.
Togores y Fabregas (Joaquin), inspecteur de première classe des ingénieurs de la marine.

États-Unis de l'Amérique du Nord.

MM. l'Envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire des États-Unis de l'Amérique du Nord à Paris.
Barker (G.-F.), MD, MNAS, professeur de physique à l'Université de Pensylvanie.
Heap (D.-P.), capitaine du corps du génie.
Herz (Dr Cornelius), ingénieur-électricien.
Mac Lean (T.-C.), lieutenant de la marine des États-Unis.
Rowland (Henry-A.), Ph.D, MNAS, professeur de physique à l'Université de Johns Hopkins, à Baltimore.

États-Unis du Mexique.

MM. l'Envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Mexique à Paris.
Cardenas (Alberto).
Covarrubias (Francisco-Diaz), ingénieur-géographe.

États-Unis de Venezuela.

MM. l'Envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Venezuela à Paris.
Borges (Gerardo-M.), directeur général des Télégraphes de Venezuela.

France.

MM. le Ministre des postes et des télégraphes.
le Ministre de l'instruction publique et des beaux-arts.
le Ministre des travaux publics.
le Ministre de la guerre.
le Ministre de la marine et des colonies.
le Ministre de l'agriculture et du commerce.
Berthelot, sénateur, membre de l'Institut.
le général Frébault, sénateur.
Wurtz, sénateur, membre de l'Institut, président de l'Académie des sciences.
Bert (Paul), député, professeur à la Faculté des sciences de Paris.
Hervé-Mangon, député, membre de l'Institut.
Lesguillier, député, directeur des Chemins de fer de l'État.
Becquerel (Ed.), membre de l'Institut.
Breguet (L.), membre de l'Institut, membre du Bureau des longitudes.
Cornu, membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique.
Daubrée, membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, directeur de l'École nationale des mines.
Desains, membre de l'Institut.
Dumas (J.-B), de l'Académie française, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.
Fizeau, membre de l'Institut.
Jamin, membre de l'Institut.
Lalanne, membre de l'Institut, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur de l'École nationale des ponts et chaussées.

MM. Marey, membre de l'Institut, professeur au Collège de France.
le comte du Moncel, membre de l'Institut.
le lieutenant-colonel Perrier, membre de l'Institut.
Abria, doyen de la Faculté des sciences de Bordeaux.
Allard, inspecteur général des ponts et chaussées, directeur du service central des phares.
Baron, directeur au Ministère des postes et des télégraphes.
Bergon, directeur au Ministère des postes et des télégraphes.
Bertin-Mourot, sous-directeur de l'École normale supérieure.
Blavier, directeur-ingénieur des Télégraphes, directeur de l'École supérieure de télégraphie.
Boussac, inspecteur en chef du contrôle au Ministère des postes et des télégraphes.
Bouty, professeur au lycée Saint-Louis.
Bressonet, général de division, président du Comité des fortifications.
Collignon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, inspecteur de l'École nationale des ponts et chaussées.
Crova, professeur de physique à la Faculté des sciences de Montpellier.
Deprez (Marcel), électricien.
Durand-Claye (Léon), ingénieur en chef des ponts et chaussées.
Fontaine, ingénieur, président de la chambre syndicale des électriciens.
Garbe, chargé du cours de physique générale et de météorologie à l'École préparatoire à l'enseignement supérieur des sciences, à Alger.
Guillebot de Nerville, inspecteur général des mines.
Jablochkoff, ingénieur-électricien.
Jacqmin, directeur de la compagnie des chemins de fer de l'Est.
Joubert, secrétaire général de la Société française de physique.
Jourdan, commandant du génie.
Jousselin, inspecteur principal de l'exploitation des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
Lartigue, directeur de la Société générale des téléphones.
Leclère, capitaine d'artillerie.
Le Roux, professeur de physique à l'École supérieure de pharmacie.
Lévy (Maurice), ingénieur en chef des ponts et chaussées, professeur suppléant au Collège de France.
Lippmann, maître de conférences à la Faculté des sciences de Paris.
Mangin, colonel du génie.
Mascart, professeur au Collège de France, directeur du Bureau central météorologique.
Mathias, ingénieur en chef de l'exploitation du chemin de fer du Nord.
Mathieu, capitaine de vaisseau.
Mercadier, ingénieur des télégraphes, inspecteur des études de l'École supérieure de télégraphie.
Mouton, maître de conférences à la Faculté des sciences de Paris.
Neyreneuf, maître de conférences à la Faculté des sciences de Caen.
Penel, commandant d'état-major, rapporteur de la commission de télégraphie militaire.
Planté (Gaston), électricien.
Potier, professeur à l'École des mines et à l'École polytechnique.

MM. Raynaud, ingénieur des télégraphes.
Reboul, doyen de la Faculté des sciences de Marseille.
Regnault, inspecteur principal honoraire du mouvement à la compagnie des chemins de fer de l'Ouest.
Richard, directeur-ingénieur des télégraphes.
le général baron de Saint-Cyr-Nugues, président de la Commission de télégraphie militaire.
Sebert, lieutenant-colonel d'artillerie de marine.
Sévène, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur de la compagnie des chemins de fer d'Orléans.
Terquem, professeur à la Faculté des sciences de Lille.
Violle, professeur à la Faculté des sciences de Lyon.
Wolf, astronome titulaire de l'Observatoire de Paris.

Grande-Bretagne et d'Irlande (Royaume-Uni de).

S. E. l'Ambassadeur extraordinaire et plénipotentiaire de Grande-Bretagne et d'Irlande à Paris.
MM. Abel. CB, FRS, professeur de chimie, Royal arsenal, Woolwich.
le professeur Adams (W.-Grylls), FRS, à Londres.
le lieutenant Anstruther (R.-W), RE.
le professeur Ayrton (W.-E.), FRS, BS.
le professeur Barrett (W.-F.), Royal College of science, à Dublin.
Sir Charles Bright, CE, commissaire à l'Exposition internationale d'électricité.
MM. Chrystal, FRS, professeur à l'Université d'Édimbourg.
Clark (Latimer), M. Inst. CE, à Londres.
Clifton (R.-B.), FRS, professeur à l'Université d'Oxford.
Earl of Crawford and Balcarres, FRS, commissaire général à l'Exposition internationale d'électricité.
MM. Crookes (W), FRS, à Londres.
le Dr de la Rue (Warren), DCL, Ph.D, FRS, correspondant de l'Institut (Académie des sciences), à Londres.
le professeur Dewar (J.), Royal Institution, à Londres.
Everett (J.-D.), professeur, FRS, à Belfast (Irlande).
le professeur Fitzgerald (G.), Trinity College, à Dublin.
Foster (G. Carey), FRS, professeur, University College, à Londres.
le Dr Gladstone (J.-H.), FRS, à Londres.
Gordon (J.-E.-K.).
Graves (E.), ingénieur en chef à l'administration des télégraphes, à Londres.
le Dr Hopkinson (John), FRS, à Londres.
le professeur Hughes, DE, FRS, commissaire à l'Exposition internationale d'électricité.
le professeur Jenkin (Fleeming), FRS, professeur à l'Université d'Édimbourg.
Moulton (J.-F.), FRS, à Londres.
Preece (W.-H), FRS, électricien en chef de l'Administration des télégraphes, à Londres.

Lord RAYLEIGH, FRS, professeur de physique à l'Université de Cambridge.
MM. le Dr Siemens (C.-W.), DCL, LLD, FRS, à Londres.
SMITH, FRS, professeur à l'Université d'Oxford.
SMITH (Willoughby), à Londres.
SPAGNOLETTI (C.-E.), à Londres.
SPOTTISWOODE (W.), président de la Société royale, DCL, LLD, à Londres.
STROH (A.).
le professeur TAIT (P. G.), à Édimbourg.
Sir William THOMSON, FRS, LLD, professeur à l'Université de Glasgow.
MM. le professeur TYNDALL (J.), FRS, DCL, LLD, Royal Institution, à Londres.
VARLEY (Cromwell), FRS, à Londres.
WALKER (C.-V.), FRS, à Reigate.
le lieutenant-colonel WEBBER (C.), RE, commissaire à l'Exposition internationale d'électricité.

Grèce (Royaume de).

MM. l'ENVOYÉ extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Grèce à Paris.
ARGYROPOULO (Timoléon), professeur de physique à l'École militaire d'Athènes.
PROTOPAPPADAKY.

Guatemala (République du).

M. CRISANTO-MEDINA, ministre de la République du Guatemala à Paris.

Hongrie (Royaume de).

M. le baron EÖVÖS (Lorand), professeur de physique à l'Université de Budapest et membre de l'Académie hongroise des sciences.

Italie (Royaume d').

S. E. l'AMBASSADEUR extraordinaire et plénipotentiaire d'Italie à Paris.
MM. FERRARIS (Galileo), professeur de physique industrielle au Musée royal industriel de Turin, délégué du musée industriel de Turin.
GOVI (Gilbert), professeur de physique à l'Université de Naples, délégué du Gouvernement italien, commissaire général d'Italie à l'Exposition d'électricité.
PICCOLI (Valentin), ingénieur.
ROSSETTI (François), professeur de physique à l'Université de Padoue, délégué du ministère de l'instruction publique.

Japon (Empire du).

MM. l'ENVOYÉ extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Japon à Paris.
BECQUEREL (Henri), ingénieur des ponts et chaussées, répétiteur à l'École polytechnique.

Luxembourg (Grand-duché de).

MM. le Chargé d'affaires du Luxembourg à Paris,
WILLIÈRE, ingénieur, directeur des chemins de fer du Prince Henri, à Luxembourg.

Nicaragua (République de).

MM. l'ENVOYÉ extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Nicaragua à Paris.
PETITDIDIER (Arthur), consul général du Nicaragua à Paris.

Norvège (Royaume de).

MM. l'ENVOYÉ extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Suède et Norvège à Paris.
BRÖCH (O.-J.), ancien ministre, professeur à l'Université de Christiania.
BUGGE (J.-U.-F.), inspecteur des télégraphes de Norvège.
KOREN (B.-J.-R.), capitaine de la marine royale de Norvège, chef du service des torpilles.

Pays-Bas (Royaume des).

MM. l'ENVOYÉ extraordinaire et ministre plénipotentiaire des Pays-Bas à Paris.
le Dr BOSSCHA (Johannes), directeur de l'École polytechnique, à Delft.
COLLETTE (J.-M.), inspecteur, chef du service technique des télégraphes des Pays-Bas.
VAN KERKWIJK (J.-J.), membre des états généraux, à La Haye.

Portugal (Royaume de).

MM. l'ENVOYÉ extraordinaire et ministre plénipotentiaire du Portugal à Paris.
D'ANDRADE CORVO, ministre d'État honoraire, pair du royaume de Portugal.
le conseiller DE BARROS (Guillermino-Augusto), directeur général des postes, télégraphes et phares du royaume de Portugal.
le Dr DOS SANTOS VIEGAS (Antonio), professeur à l'Université de Coïmbre,

Russie (Empire de).

S. E. l'AMBASSADEUR extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Russie à Paris.
MM. AVENARIUS, conseiller d'État, professeur à l'Université impériale de Kieff.
BORGMANN, professeur de physique, délégué de la Société de physique de Russie.
DECHEVOW (Michel), conseiller d'État, chimiste et ingénieur des mines, délégué par l'Expédition pour la fabrication des papiers de l'État, à Saint-Pétersbourg.
EGOROFF (Nicolas), professeur de physique à l'Université impériale de Varsovie.

MM. Latchinoff (Dmitry), professeur de physique, délégué de la Société impériale polytechnique, commissaire à l'Exposition internationale d'électricité.

Lenz, conseiller d'État actuel, professeur à l'Institut technologique, à Saint-Pétersbourg.

Lermontow (Vladimir), délégué par la Société de physique de Russie.

Likhatcheff, vice-amiral, attaché naval auprès de l'ambassade de Russie en France.

Okschewsky (Thomas), ingénieur technologue de 1re classe, délégué par l'Expédition pour la fabrication des papiers de l'État, à Saint-Pétersbourg.

Radiwanowski, capitaine du génie.

Routkowski (Mietchislas de), ingénieur délégué par le ministère impérial des voies de communication.

Slouginoff, professeur de physique.

Stoletow (Alexandre), professeur de physique à l'Université impériale de Moscou, délégué de la Société impériale des Amis des sciences naturelles et du Musée polytechnique de Moscou, conseiller d'État actuel.

Tchikoleff (Vladimir), directeur de l'éclairage électrique au département de l'artillerie, à Saint-Pétersbourg.

Walberg, général-major du génie.

Salvador (République de).

MM. le Ministre plénipotentiaire de Salvador à Paris.

Tresca (Gustave), conservateur adjoint des collections du Conservatoire des arts et métiers, attaché à la Commission internationale du système métrique.

Suède (Royaume de).

MM. l'Envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de Suède et Norvège à Paris.

Dahlander (G.-R.), professeur de physique à l'École polytechnique supérieure, à Stockholm.

Nordlander (D.), directeur général des télégraphes.

Nyström (C.-A.), chef du bureau technique de l'Administration des télégraphes de Suède, commissaire à l'Exposition internationale d'électricité.

Thalén (T.-R.), professeur de physique à l'université d'Upsala.

Suisse (Confédération).

MM. l'Envoyé extraordinaire et ministre plénipotentiaire de la Confédération suisse à Paris.

le professeur Hagenbach, à Bâle.

MM. Rothen (Timothée), adjoint à la Direction des télégraphes, à Berne.
le professeur Wartmann, à Genève.
Weber (F.), professeur à l'École polytechnique de Zurich.

CHANCELLERIE

MM. le Dr d'Arsonval, préparateur au Collège de France.
Cabanellas, ancien lieutenant de vaisseau.
Cantagrel, ingénieur.
Delahaye, ingénieur.
Gariel, ingénieur des ponts et chaussées, agrégé de physique à la Faculté de médecine.
Géraldy (Franck), publiciste.
Hospitalier, ingénieur des arts et manufactures.
Napoli, ingénieur à la compagnie des chemins de fer de l'Est.
Niaudet, ingénieur.
Pellat, professeur au lycée Louis-le-Grand.
Sartiaux (E.), ingénieur à la compagnie des chemins de fer du Nord.
Teisserenc de Bort (Léon), chef du service de météorologie générale au Bureau central météorologique.

SECRÉTARIAT

MM. Seligmann-Lui, ingénieur des télégraphes.
Cailho, élève-ingénieur des télégraphes.
Consigny, élève-ingénieur des télégraphes.
Durègne, élève-ingénieur des télégraphes.
Gidel, élève-ingénieur des télégraphes.
Guerville, élève-ingénieur des télégraphes.
Massin, élève-ingénieur des télégraphes.
de Nerville, élève-ingénieur des télégraphes.
Schæffer, élève-ingénieur des télégraphes.
Thomas, élève-ingénieur des télégraphes.
de la Touanne, élève-ingénieur des télégraphes.

SÉANCES PLÉNIÈRES

PREMIÈRE SÉANCE

15 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. AD. COCHERY
Ministre des Postes et des Télégraphes.

M. LE MINISTRE prend place au bureau à trois heures quinze minutes, et déclare la séance ouverte.

Il s'adresse en ces termes aux membres du Congrès :

« Messieurs,

« En invitant toutes les nations à prendre part à notre Exposition, en leur ouvrant les portes de ce Congrès, nous avons obéi à la nécessité d'étendre le domaine de la science et de ses applications.

« Notre but a été compris et accepté. Toutes les nations se sont empressées de répondre à notre appel. L'Europe entière est représentée dans cette enceinte. Les États-Unis d'Amérique y siègent. L'Amérique du Sud y occupe une place importante. Les divers gouvernements nous ont envoyé leurs plus illustres savants; ils ont choisi des hommes que nous connaissions déjà par les éminents services qu'ils ont rendus à la cause du progrès.

« Au nom de la France, je vous exprime toute notre gratitude.

« Vous êtes les bienvenus!

« La haute autorité de vos connaissances, votre grande expérience rendront facile la solution des questions qui vont s'imposer à vos délibérations.

« Ces questions, je n'ai pas besoin de le dire, offrent un immense intérêt.

« L'électricité, cet agent incomparable, s'asservit de plus en plus aux besoins modernes et promet des conquêtes illimitées.

« Beaucoup a été fait. Mais combien ne reste-t-il pas à faire!

« Si la science de l'électricité a un passé, si sa première manifestation, celle même qui lui a donné le nom qu'elle porte, remonte à une époque philosophique de l'antiquité, il faut reconnaître que, pendant de longs siècles, elle a été stérile; c'est qu'elle était circonscrite dans le domaine exclusif de la métaphysique.

« Mais un jour est venu où la polémique de l'école a fait place à l'investigation expérimentale. Alors surgirent les premiers appareils électriques dont on faisait timidement jaillir quelques étincelles, image très affaiblie que la science naissante donnait du majestueux phénomène de la foudre.

« Puis apparut la bouteille de Leyde, dont les effets impressionnèrent si vivement les contemporains.

« Franklin parvint à tirer l'éclair d'un nuage orageux et forgea le paratonnerre.

« On savait produire l'électricité statique; Coulomb la mesura et en formula les lois : mais que de peine encore pour la retenir, pour la conserver!

« Avec Galvani, avec Volta, le XIXe siècle inaugure l'ère des découvertes décisives qui donnèrent l'élan au mouvement prodigieux auquel nous assistons. Dès l'année 1800, Volta construit la pile : le courant électrique est trouvé et l'on peut constater l'électricité dans les actions chimiques; or l'électricité dans les actions chimiques, c'est déjà l'électricité partout.

« Aussi, comme cette science se développe! Les noms des initiateurs se présentent en foule à ma pensée : Davy, Œrsted, Ampère, Arago, Faraday, tant d'autres que je pourrais citer avec non moins de justice, posent les principes essentiels de l'électricité dynamique, d'où vont sortir les progrès modernes. Les praticiens viennent à leur suite; ils s'emparent des révélations de la science, ils les fécondent et donnent au monde la télégraphie, la galvanoplastie, la lumière électrique, les applications médicales et chirurgicales, le transport de la force, son emmagasinement, la téléphonie.

« On pressent facilement que nous ne sommes qu'au début des découvertes : celles qui naissent sous nos yeux sont merveilleuses, mais elles sont surtout pleines de promesses. Les inventions des praticiens deviennent à leur tour des éléments précieux pour les recherches scienti-

fiques, et l'industrie prête ainsi un concours essentiel aux savants.

« C'est sous ces impressions que nous avons été conduits à ouvrir une exposition d'électricité et à réunir un Congrès international de savants électriciens. Vous me permettrez, en cette circonstance, de ne pas oublier de rendre hommage à l'heureuse initiative de MM. de Freycinet et Varroy, mes anciens collègues, à celle de M. Sadi Carnot, mon collègue actuel, qui ont eu leur bonne part dans cette œuvre. Nous avons la conscience d'avoir répondu aux intérêts et aux désirs de toutes les nations.

« L'Exposition et ce Congrès auront le précieux avantage de soumettre au contrôle exact de la science et de l'expérience pratique des découvertes qui, par le fait d'une publicité hâtive et prématurée, auraient parfois surpris l'imagination.

« L'Exposition internationale à laquelle nous assistons, la première qui ait été exclusivement consacrée à l'électricité, inscrira, grâce à vos travaux, sa date dans l'histoire de la science.

« Elle se produit dans les meilleures conditions; pour s'en convaincre, il suffit de sortir de cette salle, de parcourir les galeries qui lui font suite, de descendre dans la nef centrale : il semble qu'on entre dans le laboratoire d'un magicien; on va, à chaque pas, de surprise en surprise.

« Ce sont là les conquêtes faites sur cette puissance jadis si capricieuse et si indomptée, aujourd'hui réduite à obéir au génie de l'homme.

« Chaque pays a sa part de ces conquêtes, chaque pays également puisera dans le fonds commun une abondante récolte.

« Il fallait un aréopage.

« Il fallait instruire le public, discuter dans l'intérêt de la science les procédés et les résultats obtenus.

« Ce sera l'œuvre du Congrès.

« Il vous appartient, Messieurs, et permettez-moi de vous appeler ainsi, chers collègues, il vous appartient de tirer des richesses accumulées dans ce Palais de l'Industrie tous les enseignements qu'elles contiennent, de déterminer les solutions qu'elles provoquent, de porter enfin le champ de vos investigations soit sur le terrain de l'industrie, soit sur le terrain de la science pure.

« L'œuvre est grande. Vous êtes à la hauteur nécessaire pour l'accomplir.

« C'est donc avec une entière confiance que je déclare ouvert le Congrès international des électriciens. »

M. LE COMMISSAIRE GÉNÉRAL, sur l'invitation de M. le Président, donne lecture du décret du 23 octobre 1880, instituant le Congrès et l'Exposition d'électricité, et du décret du 24 octobre 1880, nommant M. Georges Berger, ancien directeur général des sections étrangères à l'Exposition universelle de 1878, Commissaire général du Congrès international et de l'Exposition d'électricité (voir page 1).

M. le Commissaire général présente ensuite les excuses des membres suivants, empêchés d'assister à la séance de ce jour :

MM. le général Farre, ministre de la guerre;
le baron de Beyens, ministre plénipotentiaire de Belgique;
d'Arrojo, ministre plénipotentiaire du Brésil ;
Morton (Lévi), ministre plénipotentiaire des États-Unis de l'Amérique du Nord;
Carey-Foster (FRS.) ;
Hervé-Mangon, député;
Garbe ;
Jacqmin.

M. REGNAULT offre sa démission pour cause de santé.

M. LE COMMISSAIRE GÉNÉRAL croit être l'interprète du Congrès en proposant de maintenir le nom de M. Regnault sur la liste des membres. (Assentiment).

M. LE PRÉSIDENT annonce au Congrès la nomination, comme vice-présidents français, de :

MM. Jules FERRY, président du Conseil des ministres;
SADI CARNOT, ministre des travaux publics.

Il sera donné connaissance du nom du troisième vice-président français dans la prochaine séance plénière.

M. LE PRÉSIDENT demande ensuite comment on veut procéder à la nomination des vice-présidents étrangers.

M. LE COMMISSAIRE GÉNÉRAL, au nom d'un certain nombre de membres, exprime le désir que les travaux du Congrès soient menés aussi rapidement que possible, sans nuire cependant à l'étude des questions que doit résoudre l'assemblée. Il y a donc intérêt à ce que les vice-présidents étrangers soient nommés dans la séance actuelle.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer qu'il serait heureux de voir durer le Congrès pour retenir le plus longtemps possible, en France, les savants étrangers, mais il est obligé de constater que la demande de M. le

Commissaire général répond aux sentiments d'un certain nombre de membres et il ajoute qu'on devra y satisfaire autant que possible.

(La séance est suspendue à trois heures vingt-cinq minutes pour permettre à MM. les membres étrangers de se concerter sur la nomination des vice-présidents. La séance est reprise à trois heures quarante minutes.)

M. LE PRÉSIDENT prie les membres français de ne pas prendre part au vote sur la constitution du bureau.

Le Congrès décide que les nominations ne seront pas faites au scrutin, mais par mains levées.

M. le comte DE CRAWFORD ET BALCARRES (Grande-Bretagne) propose les noms suivants :

MM. le professeur Govi (Italie);
le Dr Helmholtz (Allemagne);
Sir William Thomson (Grande-Bretagne).

Le Congrès, consulté, nomme vice-présidents MM. le professeur Govi, le Dr Helmholtz et sir William Thomson.

Le Bureau étant ainsi constitué, M. LE PRÉSIDENT demande au Congrès s'il entend que les séances soient publiques. Les membres de la presse et un certain nombre de savants étrangers au Congrès ont demandé à assister aux séances. Il appartient à cette assemblée de décider si les séances plénières et les séances de section seront publiques

M. VAN RYSSELBERGHE (Belgique) pense que l'on peut admettre la presse; mais il croit que les demandes seront trop nombreuses si l'on accueille d'autres catégories d'auditeurs.

M. MASCART (France) croit qu'il serait utile que quelques savants, présents à Paris, puissent assister aux séances avec voix consultative. Le Bureau serait chargé d'accorder les autorisations.

M. LE COMMISSAIRE GÉNÉRAL fait remarquer que chaque journal n'enverrait que son rédacteur scientifique.

M. LE PRÉSIDENT invite l'assemblée à voter sur la question de savoir si les savants étrangers au Congrès pourront être admis à assister aux séances plénières avec voix consultative.

(Adopté à l'unanimité.)

Il prie l'assemblée d'indiquer de quelle manière on statuera sur ces admissions. Le Congrès décide que le Bureau sera chargé de ce soin.

En ce qui concerne la presse, le Congrès décide que les rédacteurs scientifiques seront admis aux séances plénières, sous le contrôle du Bureau.

M. le Président donne lecure du préambule du projet de programme élaboré en vue des séances du Congrès international des électriciens par la Commission désignée par les membres français dans la séance du 1er août 1881.

Le Congrès sera divisé en trois sections. Ces sections comprendront :

La première, les physiciens, les chimistes, les physiologistes et, en général, les personnes qui étudient l'électricité au point de vue théorique.

La deuxième, les télégraphistes et les ingénieurs de chemins de fer.

La troisième, les électriciens et les ingénieurs qui s'occupent des autres applications civiles ou militaires de l'électricité.

Les membres du Congrès pourront se faire inscrire chacun dans plusieurs sections.

Les séances de sections auront lieu à des heures différentes, afin de permettre à tous les membres d'y prendre part.

Les séances du Congrès comprendront :

1°. — Des séances plénières consacrées à la discussiou des questions exigeant une entente internationale et comportant, par suite, un vote du Congrès.

2°. — Des séances de sections, consacrées à l'exposé et à la discussion des questions présentant un intérêt spécial, qui peuvent donner lieu utilement à un échange de vues et de renseignements.

3°. — Des séances publiques, sous forme de conférences, dans lesquelles seront exposées, par les membres du Congrès, qui voudront bien en accepter la mission, quelques-unes des questions qui attirent en ce moment l'attention.

M. le Commissaire général donne lecture d'une note développant ce programme; elle est ainsi conçue :

PREMIÈRE PARTIE

SÉANCES PLÉNIÈRES

Questions générales soumises au Congrès.

I. — Unités électriques.

Discussion des mesures à prendre pour arriver à l'adoption générale d'un système international d'unités électriques.

1. — Nécessité d'une entente pour l'adoption générale d'un système international de mesures électriques.

2. — Choix du système d'unités à adopter et dénominations à leur donner.

3. — Mesures à prendre pour l'établissement, la conservation et la reproduction des étalons internationaux.

4. — Ne convient-il pas de constituer, à cet effet, une Commission internationale?

5. — Ne pourrait-on pas rattacher l'organisation de cette Commission à celle du Bureau international des poids et mesures ?

II. — Télégraphie internationale.

Mesures à prendre pour faciliter le service des lignes télégraphiques internationales.

1. — Moyens d'assurer l'emploi des mêmes termes et des mêmes unités pour la désignation des éléments qui influent sur le fonctionnement des lignes internationales.

2. — Ne serait-il pas possible d'organiser une étude internationale des courants terrestres ?

3. — Conventions destinées à régler les conditions d'établissement des câbles sous-marins, dans les cas de juxtaposition ou de croisement.

4. — Conventions à établir au sujet des signaux distinctifs et des règles de navigation à admettre pour les navires employés à la pose ou au relèvement des câbles sous-marins.

III. — Applications diverses de l'électricité.

Mesures à prendre pour faciliter les relations scientifiques internationales en ce qui concerne certaines applications spéciales de l'Électricité[1].

1. — *Lumière électrique.* — Mesures à prendre pour faciliter la comparaison des intensités lumineuses.

2. — *Électro-physiologie.* — Mesures à prendre pour faciliter la comparaison des effets obtenus dans l'emploi des appareils électro-médicaux.

3. — *Paratonnerres.* — Mesures à prendre pour assurer la réunion de renseignements statistiques comparatifs sur l'efficacité des différents systemes de paratonnerres en usage.

DEUXIÈME PARTIE

SÉANCES DE SECTIONS

Questions spéciales pouvant donner lieu à un échange utile d'idées.

PREMIÈRE SECTION.

Théorie. — Sources d'électricité. — Paratonnerres. — Électro-physiologie.

1. — Questions concernant la théorie de l'électricité.

2. — Questions relatives à la mesure des courants continus ou alternatifs de grande intensité.

3. — Questions concernant la physique du globe. Électricité atmosphérique et magnétisme terrestre.

1. La solution de ces questions spéciales sera préparée par la discussion qui aura lieu dans les sections.

4. — Paratonnerres. — Discussion des meilleures conditions d'établissement des paratonnerres. Serait-il possible de réunir les éléments d'une statistique internationale concernant l'efficacité comparative des différents systèmes de paratonnerres en usage ?

5. — Questions concernant l'électro-physiologie. — Nécessité de définir, d'une façon scientifique, les courants dont on fait usage dans les opérations médicales et d'en rattacher la mesure aux unités électriques.

Meilleurs moyens à employer pour déterminer la nature des phénomènes électriques qui se produisent chez les animaux.

6. — Questions réservées à l'initiative des membres.

DEUXIÈME SECTION.

Transmission des signaux et de la parole par l'électricité, Télégraphie, Téléphonie, Chemins de fer.

1. — Questions concernant la Télégraphie.

Comparaison de l'emploi des piles et des machines en Télégraphie.

Des meilleures conditions d'établissement des lignes télégraphiques aériennes, souterraines et sous-marines, sous le rapport de la conductibilité et de l'isolement.

Avantages et inconvénients de l'emploi des relais sur les grandes lignes.

Dispositions à adopter pour les paratonnerres des lignes télégraphiques. — Avantages et inconvénients des fils préservateurs.

fl n° 6

2. — Questions concernant la Téléphonie.

Difficultés spéciales que présente l'installation des lignes téléphoniques. — Causes des perturbations.

3. — Questions concernant les chemins de fer.

Application de l'électricité au service de sécurité des chemins de fer.

Comparaison des systèmes de signaux automatiques et mixtes.

4. — Questions réservées à l'initiative des membres du Congrès.

TROISIÈME SECTION.

Applications industrielles de l'électricité.

1. — Questions concernant l'éclairage électrique.

Mesure de l'intensité lumineuse des sources électriques. Comparaison des divers procédés photométriques. A défaut d'une unité absolue pour la mesure des intensités lumineuses, existe-t-il un type qui puisse être recommandé comme étalon international ? Est-il possible d'établir des règles simples pour les mesures photométriques?

Comparaison des effets des machines à courants continus ou alternatifs.

Conditions spéciales à l'application de la lumière électrique pour l'éclairage des villes, des ateliers, des mines, des appartements, des phares, des navires etc...

2. — Questions concernant la transmission des forces à distance par l'électricité.

Emploi de l'électricité pour la transmission des forces à distance, faits con-

nus et résultats acquis, difficultés à résoudre. Utilisation des forces naturelles au moyen de l'électricité.

Applications diverses.

3. — Distribution industrielle de l'électricité.

4. — Horlogerie et Chronographie électriques. Appareils enregistreurs et instruments de précision. Application à la géodésie.

5. — Électro-métallurgie et applications de l'électricité à la chimie.

6. — Questions réservées à l'initiative des membres du Congrès.

TROISIÈME PARTIE

CONFÉRENCES PUBLIQUES.

(PROGRAMME RÉSERVÉ).

Parmi les sujets qui pourraient être traités, en conférences publiques, la Commission signale spécialement les suivants :

1. — Sur les mesures électriques.
2. — Sur l'éclairage électrique.
3. — Sur la transmission des forces par l'électricité.
4. — Sur la téléphonie et ses applications.
5. — Électricité atmosphérique. Paratonnerres.
6. — Magnétisme terrestre.

M. LE PRÉSIDENT demande si quelque membre désire proposer un autre projet de programme.

M. VAN RYSSELBERGHE fait remarquer que la deuxième et la troisième partie du projet de programme (séances de sections et conférences publiques) contiennent des questions réservées à l'initiative des membres du Congrès. La première partie au contraire (séances plénières) n'en parle pas et semble les interdire.

Il croit que c'est apporter une restriction au programme des séances plénières.

M. JAMIN (France), président de la Commission qui a élaboré le projet de programme, répond que la Commission n'a pas cru devoir autoriser la discussion, en séances plénières, de questions qui n'auraient pas été étudiées dans les réunions des sections. Le programme des séances plénières est trop chargé pour laisser place aux propositions individuelles. Ces propositions pourront toujours être discutées dans les séances de section; les questions d'intérêt international devraient seules être tranchées en séances plénières.

M. VAN RYSSELBERGHE insiste et croit qu'il n'est pas rationnel de limiter les discussions des séances plénières aux seules questions pouvant avoir une sanction officielle.

M. le Dr Siemens (C. W.) (Grande-Bretagne) croit qu'il est mauvais de diviser en trois classes les membres du Congrès.

M. Jamin fait remarquer que tous les membres peuvent assister aux délibérations des sections, même à celles pour lesquelles ils ne se seront pas fait inscrire. Ils peuvent en outre réclamer leur inscription dans plusieurs sections.

M. le Président donne lecture du paragraphe du projet de programme auquel M. Jamin fait allusion.

M. Siemens (C. W.) persiste et explique que ce qu'il demande, c'est la substitution des choses aux personnes dans la rédaction du préambule.

Ainsi on remplacerait cette formule :

La première Section comprend les physiciens, les chimistes, etc.,

par celle-ci :

La première Section s'occupera des questions de physique, chimie, etc.

M. Mercadier (France) fait remarquer que le paragraphe lu par M. le Président donnait implicitement satisfaction à M. Siemens.

La partie suivante du préambule est alors adoptée :

« Le Congrès sera divisé en trois sections. Ces sections s'occuperont :

« La première, des questions de physique, chimie, physiologie et, en général, de l'électricité au point de vue théorique ;

« La deuxième, des questions touchant à la télégraphie et aux chemins de fer ;

« La troisième, des autres applications civiles ou militaires de l'électricité. »

M. Rau (Belgique) propose de créer une quatrième section, qui s'occuperait de l'état de l'instruction primaire et supérieure de l'électricité et du degré des connaissances acquises sur cette science dans les divers pays.

(La proposition, mise aux voix, n'est pas adoptée.)

La fin du préambule est adoptée sans modifications.

Le Congrès décide, en outre, que les sections dresseront le programme des questions générales à placer à l'ordre du jour des séances plénières.

M. le Président fait remarquer qu'en tranchant la question de publicité des séances, on n'a parlé que des séances plénières ; il croit devoir demander au Congrès comment il entend procéder pour les séances de section.

M. Mascart croit que, sauf l'assentiment du Bureau, il serait utile que les savants étrangers au Congrès pussent être admis aux séances des sections avec voix consultative.

M. le Dr WARREN DE LA RUE (Grande-Bretagne) propose de substituer le mot *invités* au mot *admis*, dans la proposition de M. Mascart.

M. JAMIN demande que les savants assistent seulement comme auditeurs.

M. LE PRÉSIDENT met aux voix la proposition de M. Mascart.

Cette proposition étant adoptée, il est inutile de consulter l'assemblée sur les deux autres.

M. LE PRÉSIDENT invite MM. les Membres du Congrès à répondre à l'appel de leur nom, en indiquant à quelles sections ils désirent appartenir.

M. LE COMMISSAIRE GÉNÉRAL procède à l'appel nominal, et MM. les Membres du Congrès choisissent leurs sections.

M. LE PRÉSIDENT invite le Congrès à fixer les heures de séance des sections. On pourrait tenir chaque jour une séance de chaque section.

Le Congrès décide que la première section (*Unités électriques*) tiendra ses séances tous les matins, à neuf heures et demie.

La deuxième section (*Télégraphie internationale*) tiendra ses séances à deux heures du soir.

La troisième section (*Applications diverses de l'électricité*) se réunira à quatre heures du soir.

Les sections tiendront leurs séances dans la salle du Congrès.

M. le colonel SEBERT propose de ne faire que deux séances par jour, en alternant les séances comme suit :

Premier jour, séance plénière et première section ;

Deuxième jour, deuxième et troisième sections, et ainsi de suite.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer que les sections peuvent se réunir tous les jours, si elles le désirent ; mais il fallait déterminer les heures de réunion de chacune d'elles pour que tous les membres du Congrès eussent la faculté d'assister à toutes les séances de section.

M. le Président donne lecture du vœu suivant, émis par les membres belges du Congrès :

« Publication d'un journal spécial rendant compte *journellement* des travaux du Congrès et des résultats obtenus. »

Cette feuille serait distribuée aux membres du Congrès et mise à la disposition du public ; elle constituerait le compte rendu *officiel* du Congrès.

M. NEUJEAN (Belgique). Le but que poursuit la délégation de Belgique n'est pas de rassembler les travaux, mais de faire connaître quotidiennement aux membres absents ou présents ce qui s'est passé dans le sein du Congrès.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître qu'on a prévu deux sortes de comptes rendus :

1° Les procès-verbaux des séances imprimés et distribués chaque jour;

2° Le compte rendu *in extenso* contenant tous les travaux soumis au Congrès.

(L'incident est clos).

M. NEUJEAN demande au Congrès de vouloir bien fixer de suite la date de la première séance plénière et l'ordre du jour de cette séance.

M. LE PRÉSIDENT croit qu'il faut consacrer la journée du lendemain à l'organisation intérieure des sections. Il propose de fixer la prochaine séance à samedi. On mettrait en discussion la question des *Unités électriques*.

M. MASCART fait remarquer que la question ne sera pas assez étudiée pour pouvoir être discutée samedi. Il faudra certainement plus d'une séance pour apporter au Congrès un travail supportant la discussion.

M. RAYNAUD (France) partage l'avis de M. Mascart.

Sir W. THOMSON (Grande-Bretagne), *vice-président*, propose mardi.

M. NEUJEAN propose samedi.

M. J.-B. DUMAS (France) demande au Congrès de se rallier à l'avis de M. Mascart et de fixer à mardi la prochaine séance plénière.

M. LE PRÉSIDENT met aux voix la date de *mardi;* elle est adoptée à une grande majorité.

M. LE COMMISSAIRE GÉNÉRAL rappelle à MM. les Membres du Congrès que toutes les sections tiendront séance demain, sans convocation écrite, aux heures précédemment adoptées.

Séance plénière; mardi, à deux heures. — ORDRE DU JOUR : *Unités électriques*.

La séance est levée à cinq heures dix minutes.

DEUXIÈME SÉANCE

20 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. AD. COCHERY
Ministre des Postes et des Télégraphes.

M. LE MINISTRE ouvre la séance à deux heures dix minutes et présente au Congrès son collègue, M. le Ministre des Affaires étrangères, qui a pris place au bureau.

M. LE MINISTRE fait connaître qu'une dépêche télégraphique vient d'annoncer la mort du président Garfield. Il pense qu'en présence du deuil qui frappe une nation amie l'assemblée voudra témoigner sa sympathie profonde en levant immédiatement la séance.

L'assemblée accepte unanimement cette proposition; la séance est levée à deux heures quinze minutes et renvoyée au lendemain 21 septembre, à deux heures.

TROISIÈME SÉANCE

21 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. AD. COCHERY
Ministre des Postes et des Télégraphes.

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures cinq minutes.

Il rappelle au Congrès que, sur les trois vice-présidents français, deux ont été déjà désignés : ce sont MM. Ferry, président du conseil des ministres, et Sadi Carnot, ministre des Travaux publics; il annonce que M. J.-B. Dumas a été choisi comme troisième vice-président.

La nomination de M. Dumas est accueillie par des applaudissements unanimes.

M. LE PRÉSIDENT demande s'il y a quelque observation sur le procès-verbal des deux premières séances. Personne ne demandant la parole, les procès-verbaux sont mis aux voix et adoptés.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que les dispositions ont été prises et les ordres donnés pour que les membres du Congrès aient la faculté de procéder à toutes les expériences qu'ils jugeraient utile de faire sur les machines et les appareils exposés, et, en particulier, sur les appareils de l'Administration des postes et des télégraphes de France.

Avant qu'il soit procédé à l'examen des questions traitées dans les différentes sections, M. GOVI (Italie) demande la parole et s'exprime en ces termes :

« La *Bibliographie italienne des travaux relatifs à l'électricité et au magnétisme*, que j'ai l'honneur d'offrir au Congrès de la part du gouvernement d'Italie, n'est qu'un simple *essai*, qui pourra recevoir à l'avenir de nombreux perfectionnements.

« Pressés par le temps, MM. les professeurs Rossetti et Cantoni, qui avaient bien voulu se charger de ce travail, ont fait tous leurs efforts pour l'accomplir de manière à ne rien négliger d'essentiel dans le dénombrement des livres, des brochures, des mémoires académiques et des notes qui ont été publiés par des Italiens sur l'électricité et sur le magnétisme. Mais tous ceux qui se sont occupés de ce genre de travaux savent combien il est difficile de se procurer les éléments indispensables pour le mener à bien. Aussi n'est-ce qu'à titre d'*essai* qu'ils ont livré à l'impression ce résultat de deux mois de recherches fiévreusement accomplies.

« Tel qu'il est, cependant, l'*essai* de MM. Rossetti et Cantoni présente déjà des indications très nombreuses et fort utiles pour l'histoire de l'électricité. Il a d'ailleurs le grand avantage (je n'ose pas dire le *mérite*) d'être, à ce que je crois, la première bibliographie nationale d'électricité, et nous espérons que les savants des autres pays pourront en être engagés à entreprendre et à publier des travaux analogues, chacun pour sa propre nationalité.

« Les bibliographies trop générales et se rapportant à trop de contrées et de langues différentes ne peuvent plus être, si même elles l'ont jamais été, l'œuvre d'un seul homme ou d'un seul pays.

« On n'aura de bonnes bibliographies et vraiment profitables, qu'en laissant à des spécialistes des différentes nations le soin de compiler des bibliographies spéciales et limitées aux contrées qu'il habitent.

« Cet essai n'est donc qu'une sorte d'appel fait par l'Italie à tous ceux qui s'occupent de l'électricité et du magnétisme, et nous serons trop heureux si les membres du Congrès veulent bien l'agréer, et le distancer bientôt par des publications plus parfaites.

« Peut-être l'exemple trouvera-t-il des imitateurs pour les autres branches de la *philosophie naturelle*. Les travailleurs le souhaitent vivement, et le Congrès pourrait rendre un véritable service à la science en accordant ses encouragements et son concours à cette première tentative, quelque imparfaite qu'elle puisse être, des électriciens d'Italie. »

M. Elsasser (Allemagne) présente et dépose sur le bureau du Congrès un exemplaire de la réimpression d'un mémoire d'Otto de Guericke.

M. le Président donne la parole à M. Mascart, secrétaire de la première section, pour faire connaître au Congrès les questions traitées et les décisions prises par cette section.

M. Mascart (France) donne lecture des résolutions prises par la Commission des Unités électriques et proposées à la première section :

1° On adoptera pour les mesures électriques les unités fondamentales : centimètre, masse du gramme, seconde (C. G. S.);

2° Les unités pratiques, l'*Ohm* et le *Volt*, conserveront leurs définitions actuelles : 10^9 pour l'ohm et 10^8 pour le volt;

3° L'unité de résistance (ohm) sera représentée par une colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade;

4° Une Commission internationale sera chargée de déterminer, par de nouvelles expériences, pour la pratique, la longueur de la colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade qui représentera la valeur de l'ohm.

A ces quatre premières résolutions ont été ajoutées les trois propositions suivantes :

5° On appelle *Ampère* le courant produit par un volt dans un ohm;

6° On appelle *Coulomb* la quantité d'électricité définie par la condition qu'un ampère donne un coulomb par seconde;

7° On appelle *Farad* la capacité définie par la condition qu'un coulomb dans un farad donne un volt.

M. Mascart exprime le vœu que sir William Thomson, avec l'autorité qui s'attache à son nom, veuille bien donner au Congrès quelques explications sur le sens et la portée de ces résolutions.

Sir William Thomson (Grande-Bretagne) présente le résumé des considérations qui ont inspiré les membres de la première section dans le choix des unités et des nouvelles dénominations proposées et rend, à cette occasion, hommage aux travaux de M. Siemens :

« Dès le début de ces séances, il a été question des unités fondamentales employées au commencement de ce siècle par la Commission française, et lorsque le Congrès a dû s'occuper d'établir, pour les quantités électriques, un système analogue au système métrique, il n'a cru pouvoir mieux faire que de conserver, pour unité de longueur, le centimètre; pour unité de masse, le gramme-masse; pour unité de temps, la seconde. De là dérivent, par des considérations qui ont été développées par MM. Gauss et Weber, et mises en application par ce dernier, un système absolu pour mesurer la résistance, la force électromotrice et l'intensité d'un courant, en unités fondées sur les unités fondamentales choisies. Mais ces unités ne seraient pas commodes pour la pratique, quelques-unes étant trop petites, quelques autres trop grandes, et c'est en multipliant, c'est en prenant pour mesure pratique de résistance une résistance qui est représentée dans le système absolu par une vitesse de 1,000 millions de centimètres

par seconde, que l'on obtient l'ohm que la Commission propose au Congrès de maintenir; de même le volt correspond à 100 millions d'unités C. G. S. de force électromotrice.

« Mais sous cette forme, dans cette définition, ces unités n'existent que dans les conceptions des géomètres et des physiciens. Il a paru nécessaire d'en avoir des représentations concrètes, et, dans ce sens, il a paru préférable de recourir à une définition par une colonne de mercure répondant à certaines conditions géométriques.

« On avait pour cela plusieurs raisons. En premier lieu, on ne peut comparer les autres étalons qu'en les transportant en un même endroit. Ensuite la permanence des alliages métalliques n'est pas absolument hors de soupçon. La trempe exerce sur eux une influence encore mal connue; c'est un des points qu'examinera sans doute la Commission internationale qui créera les étalons. En outre, un étalon de métal solide n'a pas les deux avantages que M. Siemens a signalés à la Commission comme propres aux étalons mercuriels; à savoir, que l'unité de mercure définie géométriquement peut être reproduite en tout point du globe, sans transport d'autre étalon que celui qui est déjà répandu partout, celui du mètre; et que l'approximation que l'on peut réaliser par cette méthode est de beaucoup supérieure à celle que fournira une reproduction en fils de métal mesurés géométriquement.

« En attendant les décisions ultérieures, où la valeur de l'unité C. G. S. servira de base, et où les méthodes les plus exactes seront employées, la Commission n'a pas cru devoir modifier les étalons actuellement en usage. Ainsi s'expliquent les quatre premières propositions.

« Il existe d'autres quantités électriques dont la mesure est souvent négligée dans la pratique, parce que l'on manque de noms pour les désigner et les rendre accessibles. La Commission, désireuse de rattacher au système les noms d'Ampère, le fondateur de l'électro-dynamique, et de Coulomb, à qui l'on doit les premières déterminations et le fondement de la science de l'électro-statique, propose de donner les noms d'*ampère* et de *coulomb* aux mesures de courant et de quantité d'électricité. Enfin le nom de Faraday sera aussi conservé dans le *farad*, comme mesure de capacité. Ainsi le volt (unité de force électromotrice) agissant dans un ohm (unité de résistance) donne un courant de un ampère, c'est-à-dire de un coulomb (unité de quantité) par seconde ; et le farad est la capacité d'un condensateur qui contient un coulomb, quand la différence de potentiel entre ses deux plaques est un volt. »

A la suite de ces explications, M. Warren de la Rue (Grande-Bretagne) fait la déclaration suivante :

« L'unanimité dans les importantes décisions de la première section est due en même temps à l'esprit conciliant de tous nos savants collègues et à la direction élevée de notre illustre président, M. Dumas. »

M. Helmholtz (Allemagne) croit nécessaire d'indiquer que les propositions adoptées par la première Section sont un compromis; il rappelle sommairement les caractères des premières unités définies par Weber et par l'Association britannique, et considère les définitions soumises au Congrès comme propres à ménager le passé et à donner au présent et à l'avenir un système d'unités fondées sur des bases invariables. Il est donc d'avis que le Congrès adopte les résolutions présentées au nom de la première Section.

« Il existait, dit-il, deux systèmes de mesures absolues : l'un, employé en Allemagne d'après Gauss et Weber, prenait pour unités fondamentales le millimètre et le milligramme; l'autre, en usage en Angleterre, partait du centimètre et du gramme. Il n'y avait donc pas concordance parfaite entre les mesures des deux pays. Or la Commission française ayant défini le gramme par le poids d'un centimètre cube d'eau, il était naturel de conserver les mêmes bases pour étendre le système métrique à d'autres quantités. En fait, l'Association britannique n'avait défini que l'ohm et le volt, mais n'avait point donné d'étalon d'intensité; et ce n'est que peu à peu que l'on s'accoutuma en Angleterre à employer, sous le nom de *weber*, une unité d'intensité (un volt dans un ohm), qui se trouvait être dix fois plus grande que l'unité employée par Weber lui-même et que l'on appelait aussi *weber* en Allemagne. Déjà des confusions s'établissent dans les ouvrages de physique entre ces deux webers, et si, après la revision de l'étalon de résistance, on eût conservé le nom de *weber* au courant produit par un volt dans le nouvel ohm, la confusion eût été inextricable. On a donc jugé préférable de supprimer ce nom, de mettre à la place, pour la nouvelle unité d'intensité, le nom d'Ampère, et ce choix est amplement justifié par les importants travaux du grand savant auquel on doit la connaissance claire des phénomènes électro-magnétiques; il a en outre l'avantage de joindre le nom d'un Français à ceux des illustrations allemandes, anglaises et italiennes qui ont déjà servi de parrains aux autres unités. On a aussi songé au nom d'Œrstedt, et l'on a dû l'abandonner, comme trop peu susceptible d'être abrégé dans certaines langues. On a aussi écarté le nom de Gauss, qui n'a point fait de déterminations électro-magnétiques, jugeant préférable de le réserver pour l'unité que, sans doute, il faudra

créer sous peu : l'unité d'intensité magnétique dans le champ des machines dynamo-électriques. D'ailleurs, nombre de savants ne sont pas d'avis de multiplier les noms d'unités, surtout si ces noms sont empruntés à des hommes.

« Quant à la nature des étalons, sir William Thomson a montré comment on a dû renoncer aux métaux, qui s'altèrent par le passage du courant. La confusion serait grande si, plus tard, on venait à reconnaître par la mesure des résistances spécifiques du mercure ou de quelques autres substances stables, que les étalons se sont modifiés. On a donc eu recours au principe appliqué avec succès par M. Siemens depuis de longues années, et cette décision aura encore l'avantage de permettre de faire par un calcul simple la conversion des unités Siemens si répandues en nouvelles unités exprimées, elles aussi, par une colonne de mercure. Si l'on se range à ces propositions, le passage sera aisé de l'un à l'autre des systèmes existants. »

M. Förster (Allemagne) demande la parole pour donner lecture, en son nom et au nom de plusieurs de ses collègues, de la résolution suivante :

« Au nom de plusieurs membres du Congrès, je tiens à déclarer, au sujet des résolutions fondamentales soumises au Congrès, que, pour nous, l'essentiel de ces décisions sera l'initiative que doit prendre le Congrès de la création d'un organe international et permanent des intérêts, qui, — dans cette branche de l'activité humaine comme dans toutes les autres, — sont communs à tous les pays.

« Nous nous soumettrons même à celles des décisions formulées par la première Section, dont la valeur scientifique définitive nous paraît encore douteuse, mais seulement dans l'intérêt de la création d'un tel organe permanent et efficace. Cet organe posera lui-même les véritables bases des unités électriques sur les résultats de grands travaux scientifiques et après examen minutieux de tous les côtés des questions, c'est-à-dire sur l'évidence scientifique.

« Pour ces raisons, nous tenons qu'au procès-verbal soit exprimée notre conviction que les décisions actuelles ne sont qu'une base préalable, qu'un projet de principes, dont le développement scientifique sera la grande tâche de votre Commission internationale. Il nous paraît d'autant plus indiqué de faire cette réserve que l'expérience a prouvé que les décisions de chaque grande réunion scientifique ont eu besoin d'être modifiées après un examen réitéré, sans que pour cela la valeur générale de ces décisions collectives ait été mise en question. »

La discussion générale étant terminée, M. le Président invite M. Mascart à donner de nouveau lecture des sept résolutions présentées au nom de la première Section. Après cette lecture, il est procédé au vote, et M. le Président constate que le Congrès adopte à l'unanimité les propositions qui lui ont été soumises.

M. Mascart donne lecture, à propos du paragraphe 4 (première partie) du projet de programme des séances, de la proposition suivante de M. Wiedemann, à laquelle s'est rallié M. Govi et qui a été adoptée par la première Section :

« Le Congrès des électriciens émet le vœu que le Gouvernement français se mette en rapport avec les autres puissances pour nommer un Comité exécutif chargé des recherches nécessaires pour établir des unités. »

M. le Président met aux voix cette proposition, qui est adoptée à l'unanimité.

M. Förster demande la parole au sujet du paragraphe 5, ainsi conçu (projet de programme des séances, première partie) : « Ne pourrait-on pas rattacher l'organisation de ce Comité exécutif à celle du Bureau international des poids et mesures? » et présente la proposition suivante :

« Tout en reconnaissant la grande utilité que le Bureau international des poids et mesures pourrait offrir pour les recherches de la Commission internationale des unités électriques et pour la conservation des étalons de mesure, le Congrès croit convenable de laisser à cette dernière Commission, nommée par voie diplomatique, la décision à prendre au sujet du paragraphe 5 de la première partie du programme. »

M. le Président met aux voix cette proposition, qui est adoptée à l'unanimité.

M. Mascart expose ensuite les discussions de la première Section sur le magnétisme terrestre. Il fait, à cette occasion, l'historique des travaux et des décisions prises par les Conférences internationales. La question a été soulevée, en 1879, au Congrès météorologique de Rome par M. le lieutenant Weyprecht. Elle a été ensuite étudiée par une Commission spéciale qui s'est réunie à Hambourg en octobre 1879, à Berne en août 1881, et dernièrement à Saint-Pétersbourg. Cette Commission a déterminé le programme des expéditions. Dès à présent, la Russie, la Suède, la Norvège, le Danemark, les Pays-Bas, les États-Unis ont donné leur adhésion à ce programme et se préparent à le mettre à exécution. L'Autriche sera représentée par une expédition dont M. le comte Wilczek fait les frais, et qui devait être commandée par le regretté Weyprecht. Il est probable que l'Al-

lemagne organisera deux expéditions, l'une vers le Nord et l'autre vers le Sud. Enfin, nous pouvons espérer que la France, grâce à l'initiative de M. le Ministre de la marine, prendra part à cette grande entreprise scientifique, en expédiant une mission dans les régions du cap Horn. Avec le concours des observatoires permanents, surtout de ceux qui sont situés dans l'hémisphère sud, à Melbourne, à Sydney, au Cap de Bonne-Espérance, le magnétisme terrestre, pendant l'année des expéditions préparées par la Commission internationale, sera l'objet d'une grande étude scientifique.

Il s'agit maintenant de profiter, à l'aide d'une entente générale, des ressources offertes par les réseaux de lignes télégraphiques qui embrassent le monde civilisé, et du concours des ingénieurs télégraphistes répartis sur toute la surface du globe.

Les vœux suivants, adoptés par la première Section, sont soumis en son nom au vote du Congrès :

« 1° Que des mesures soient prises par les différentes administrations télégraphiques afin d'organiser une étude systématique des courants terrestres, sous le patronage d'un Comité international;

2° « S'il n'est pas possible d'obtenir à bref délai une pareille organisation générale, il est à désirer qu'au moins des observations soient faites aux jours termes spécifiés par la Commission polaire internationale à l'époque de ses expéditions (les 1er et 15 de chaque mois). »

M. Förster insiste sur la nécessité de nommer une Commission du Congrès qui prépare un programme sur cette question, d'autant plus intéressante qu'un des *maxima* périodiques des courants terrestres aura lieu dans les deux prochaines années.

M. le Président fait observer que le Comité international dont il est question dans le projet de vœu de la première Section, sera, sans aucun doute, choisi avant la fin du Congrès, et qu'il n'y a donc pas lieu de nommer une Commission spéciale parmi les membres du Congrès.

M. le Président consulte le Congrès sur les vœux dont il a été donné précédemment lecture. Ces vœux sont adoptés à l'unanimité.

M. Mascart donne lecture du projet de vœu de M. Rowland, adopté par la première Section :

« Qu'une Commission internationale soit chargée de préciser les méthodes d'observation pour l'électricité atmosphérique, afin de généraliser cette étude à la surface du globe. »

Ce projet de vœu, mis aux voix, est adopté à l'unanimité, ainsi que la proposition suivante de M. Warren de la Rue :

« Le Gouvernement français est chargé de provoquer la réunion de la Commission, prévue dans le vœu de M. Rowland. »

M. Mascart donne lecture du projet de vœu suivant, relatif à la question de l'électricité atmosphérique :

« La première Section émet le vœu qu'une entente s'établisse entre les divers États, en vue de réunir les éléments d'une statistique relative à l'efficacité des paratonnerres des divers systèmes en usage. »

M. le Président invite M. Militzer, président de la deuxième Section, à faire connaître les conclusions adoptées par cette Section, qui a discuté le même sujet.

M. Militzer (Autriche) résume en quelques mots les observations qui ont été présentées dans sa Section, sans que celle-ci ait pris de décision.

M. Dumas expose que la première Section n'a pas eu d'autre intention que de réunir les données statistiques les plus complètes sur un sujet encore fort mal connu.

M. Bède (Belgique) demande que l'on fasse connaître ce qui a été dit dans la deuxième section au sujet des fils télégraphiques et téléphoniques considérés comme paratonnerres.

M. le Président répond que M. Militzer s'occupera de cette question en parlant des travaux de la section.

Le projet de vœu de la première Section est mis aux voix et adopté à l'unanimité.

L'examen des questions préparées par la première Section étant épuisé, l'ordre du jour appelle la discussion sur les travaux de la deuxième Section.

M. le Président invite M. Militzer, président de la deuxième Section, à faire connaître les travaux de sa section.

M. Militzer donne lecture de la note suivante :

« La deuxième Section s'est occupée jusqu'à présent, dans trois réunions, des questions concernant la télégraphie, spécifiées dans le premier alinéa du projet de programme.

« Elle a formé une Commission spéciale pour la discussion de la première question relative à l'emploi des piles et des machines dynamo-électriques en télégraphie; elle a constitué également une seconde Commission plus nombreuse et partagée en trois Sous-Commissions pour s'occuper des meilleures conditions des lignes télégraphiques et téléphoniques. Ces deux Commissions présenteront prochainement leur rapport à la Section.

« Vers la fin de sa troisième réunion, la Section allait s'occuper des

questions concernant la téléphonie, lorsque M. Lartigue fut chargé d'émettre un avis sur un point douteux de la pratique, qui est de savoir si les lignes télégraphiques et téléphoniques qui envahissent maintenant en nombre considérable les rues des grandes villes, et qui sont attachées en tant de points aux bâtiments publics et particuliers, doivent être considérées comme formant un danger pour eux, ou bien comme un moyen préservateur des dégâts causés par les décharges de l'électricité atmosphérique.

« Comme la question est d'un grand intérêt théorique aussi bien que pratique, M. Lartigue l'a posée aussi à la première Section, qui a décidé, dans sa réunion du 20 septembre, que la question devrait former l'objet d'une discussion dans une de ses séances plénières. »

M. le Président propose de renvoyer à la fin de la séance la discussion de cette question et de poursuivre le compte rendu des travaux des Sections.

M. le Président invite M. Becquerel, vice-président de la troisième Section, à faire connaître, en l'absence de M. Spottiswoode, président, les questions que cette Section a cru devoir signaler à l'attention du Congrès.

M. Becquerel (France) abandonne la parole à M. Sebert, secrétaire de la troisième Section.

M. Sebert (France) rappelle que la troisième Section avait à étudier les questions qui se rapportent plus spécialement aux applications industrielles de l'électricité.

Dans les trois séances qu'elle a tenues, elle a pu aborder une partie des questions relatives à l'éclairage électrique et à la transmission des forces à distance par l'électricité, et elle a formulé trois vœux ou propositions, qu'elle soumet au vote du Congrès.

M. Sebert donne lecture du premier vœu, ainsi conçu :

« En attendant qu'on puisse indiquer une unité photométrique absolue, il y a lieu de recommander l'emploi de la lampe Carcel (type du service des phares) de préférence à la bougie. »

M. Dumas (France) demande ce qu'il faut entendre par lampe Carcel (type du service des phares).

M. Allard (France) explique que la lampe Carcel employée par Fresnel brûlait, d'après les ouvrages de Fresnel, 40 grammes d'huile de colza à l'heure et que le service des phares de France a admis ce chiffre de consommation.

M. Dumas fait remarquer que, dans tous les appareils photométriques employés pour le gaz, on se sert d'une lampe Carcel brûlant 42 grammes d'huile de colza par heure, et non 40 grammes.

M. Allard maintient l'exactitude de son assertion en ce qui concerne la lampe Carcel employée par Fresnel.

M. Dumas insiste sur ce point, que la flamme de la lampe dépend de la consommation d'huile par heure; que cette consommation, dans une foule d'appareils, est fixée à 42 grammes et qu'il y aurait un grave inconvénient à modifier, sur ce point, les données de la lampe Carcel, étalon de lumière adopté par les compagnies du gaz.

M. Macé de Lepinay (France) rappelle les observations faites par Purkinje en 1825 démontrant que le rapport des intensités de deux sources lumineuses diversement colorées varie, pour le même observateur, lorsqu'on rapproche de l'écran la lampe Carcel étalon.

M. du Bois-Reymond (Allemagne), au nom des Membres allemands du Congrès, demande le renvoi de cette question de l'étalon de lumière à une Commission spéciale. En Allemagne et en Angleterre, on n'emploie pas le carcel, mais la bougie; il y aurait inconvénient sérieux à recommander un appareil qui n'est aucunement employé dans ces deux pays.

M. le Président propose au Congrès de décider le renvoi du vœu à la troisième Section, qui écouterait les observations des membres des deux premières Sections, et pourrait en tenir compte.

M. W. Siemens (Allemagne) dit que la bougie donne des résultats aussi bons que la lampe Carcel, qui n'est pas à l'abri de critiques sérieuses, et appuie le renvoi de la question à une Commission spéciale.

M. Mercadier (France) fait observer que les Membres anglais de la troisième Section n'ont pas cherché à défendre la bougie, à laquelle il est facile de faire de graves reproches.

M. Sebert insiste sur ce point, que personne de la troisième Section n'a pris la défense de la bougie, et que le vœu présenté par M. Allard a été adopté à l'unanimité des Membres présents.

M. Rau (Belgique) s'attache à faire remarquer la diversité de types qu'offrent les étalons de lumière, carcel ou bougie.

M. Violle (France) conteste la valeur de la lampe Carcel pour les comparaisons photométriques avec la lumière électrique; il y a une trop grande différence de coloration entre les sources lumineuses. Il pense qu'on pourrait employer avec avantage la lumière du platine incandescent, par exemple, la lumière émise par une surface d'un centimètre carré de platine à sa température de fusion.

M. Webber (Grande-Bretagne) appuie le renvoi à une Commission spéciale.

M. Sebert donne lecture du deuxième vœu de la troisième Section

« Une Commission internationale sera nommée pour essayer les diverses méthodes photométriques et proposer l'adoption de celle qui paraîtra la plus pratique. »

Il ajoute que le Congrès peut se prononcer sur ce vœu à l'exclusion du premier; que la troisième Section avait éliminé tout d'abord la bougie, dont personne ne prenait la défense, mais que la décision à ce sujet peut être réservée.

M. Mercadier demande que le vœu relatif au choix du photomètre soit complété par le choix de l'étalon de lumière.

M. Dumas propose le renvoi des deux propositions à la troisième Section pour une discussion nouvelle.

M. Becquerel croit que les questions pourraient être décidées en séance plénière.

M. le Président met aux voix la proposition de M. Dumas : renvoi à la troisième Section des vœux dont il vient d'être donné lecture. Cette proposition est adoptée à la majorité des Membres présents.

M. Sebert donne ensuite lecture d'un troisième vœu relatif aux mesures photométriques et ainsi conçu :

« Toute détermination photométrique d'un foyer électrique doit comprendre comme élément essentiel la formule de ce foyer, c'est-à-dire la relation existant entre l'intensité lumineuse et la direction des rayons. »

A la majorité des Membres présents, il est décidé que ce vœu sera renvoyé à la troisième Section.

M. Sebert donne lecture de la proposition suivante, présentée par M. Witmeur et adoptée par la troisième Section :

« Que la Commission internationale chargée d'examiner les méthodes photométriques étudie aussi la question suivante : *Déterminer les moyens pratiques les plus exacts d'évaluer la force transmise par une courroie à une machine magnéto ou dynamo-électrique.* »

Cette proposition est complétée par le vœu :

« Que le Jury fasse des expériences sur les différents appareils dynamométriques exposés. »

M. Dumas fait remarquer qu'il n'y a aucun rapport entre les méthodes photométriques et les mesures dynamométriques : il faudrait donc nommer une autre Commission.

M. le Président croit qu'il convient de ne pas multiplier les Commissions internationales.

M. Witmeur (Belgique) expose qu'il a été amené à faire la proposition que la troisième Section a adoptée, en s'appuyant sur la décision prise

antérieurement par celle-ci, de confier à une Commission internationale l'examen des diverses méthodes employées et proposées pour les déterminations photométriques.

La troisième Section s'occupe des questions essentiellement industrielles des applications de l'électricité. Dans ces applications, l'électricité n'est pas seule en jeu, elle a ses tenants et ses aboutissants; ces derniers sont les résultats obtenus, les premiers sont les moyens employés pour produire l'électricité. Or l'usage de l'électricité ne peut se propager que si la dépense qu'il impose justifie économiquement les résultats obtenus. S'il importe donc, et tous semblent d'accord là-dessus en ce qui concerne l'éclairage, d'évaluer ces derniers avec exactitude, il n'importe pas moins de s'accorder sur la méthode à choisir pour chiffrer ce qu'ils coûtent.

Or la base primordiale et essentielle de la dépense, toutes autres conditions égales d'ailleurs, c'est la consommation de force mécanique absorbée par les machines magnéto et dynamo-électriques.

Il n'y a, dans l'espèce, aucune divergence, quant à l'unité dont on se sert : le *cheval-vapeur;* mais il y en a quant aux méthodes employées pour déterminer le nombre d'unités absorbées dans chaque cas. Tandis que les uns (en petit nombre, selon M. Witmeur) emploient des méthodes rationnelles et directes, c'est-à-dire indépendantes de l'espèce du moteur mécanique employé, les autres se servent de moyens indirects et peu précis; notamment le calcul de la force dépensée, par le surfacement des diagrammes relevés sur le cylindre moteur, dans le cas de l'emploi des machines motrices à vapeur, et, lorsqu'on se sert des machines à gaz, le mesurage du gaz dépensé.

Parmi les moyens directs, évidemment préférables, anciennement ou récemment usités, lequel paraît le plus recommandable? Ou, à défaut de la possibilité d'un choix exclusif entre eux, comment conviendrait-il de déterminer la meilleure méthode à employer?

Pas plus en cette matière qu'en beaucoup d'autres (pense M. Witmeur), on ne peut se flatter d'arriver à un procédé absolument exact. Mais si le Congrès en signalait un comme acceptable, la haute sanction de son autorité introduirait celui-ci dans l'usage des applications électriques et, à défaut de mesurages entièrement irréprochables, on aurait au moins des évaluations comparables entre elles.

S'il est bien désirable d'arriver à un pareil résultat pour ce qui concerne l'emploi de la lumière électrique, il ne l'est pas moins pour d'autres applications de l'électricité, notamment pour la transmission électrique de la force motrice, qui, au point de vue industriel, est surtout une question de rendement mécanique.

M. Witmeur exprime la conviction qu'en prenant en considération sa proposition, le Congrès rendrait un grand service à tous ceux qui sont sollicités ou appelés à se servir des applications de l'électricité.

La détermination demandée exige des essais comparatifs qui n'ont jamais été effectués; le Congrès ne peut donc la faire actuellement; c'est pourquoi, et à raison de l'intérêt général, universel, que présente la question, M. Witmeur a proposé d'en charger une Commission internationale.

M. W. Siemens dit que l'appareil dont parle M. Witmeur existe à l'Exposition : c'est le dynamomètre de M. Hefner-Alteneck. C'est au Jury à se prononcer sur la question soulevée par M. Witmeur.

M. Bède demande que le Congrès invite le Jury à procéder avec le plus grand soin aux essais dynamométriques.

M. Witmeur insiste sur l'utilité pratique de sa proposition. Si, toutefois, l'institution d'une Commission internationale semble offrir au Congrès des inconvénients, il se rallierait volontiers à la proposition de confier au Jury le travail qu'il sollicite.

M. le Président met aux voix la proposition de M. Witmeur; le premier paragraphe n'est pas adopté, et le second admis à l'unanimité.

L'examen des travaux des Sections étant terminé, M. le Président demande au Congrès s'il désire procéder à la discussion immédiate de la proposition de M. Lartigue, ou renvoyer cette discussion à la prochaine séance. A l'unanimité, le renvoi à la prochaine séance est adopté.

M. le Président rappelle que divers membres du Congrès ont bien voulu se proposer pour faire des conférences; notamment M. Ayrton, sur l'emploi des moteurs à gaz pour le service des machines électriques, et M. Melsens, sur les paratonnerres. Il invite les membres du Congrès qui désireraient suivre cet exemple à prévenir M. le Commissaire général et à s'entendre avec lui.

M. le Président informe le Congrès qu'il a été saisi d'une demande de transformation de la deuxième et de la troisième Section en Congrès ouvert. Personne ne demandant la parole, il est procédé à un vote sur cette proposition, qui est adoptée à la majorité des membres présents.

M. le Président consulte le Congrès sur la date de la prochaine réunion plénière. Le samedi 24 septembre, proposé par M. Dumas, est adopté à l'unanimité, et M. le Président déclare que le Congrès se réunira, ce jour-là, à deux heures, en séance plénière, sans qu'il soit fait de convocation.

La séance est levée à cinq heures vingt-cinq minutes.

QUATRIÈME SÉANCE

24 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. AD. COCHERY

Ministre des Postes et des Télégraphes,

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures dix minutes.

Le procès-verbal de la dernière séance est distribué. Son adoption sera mise aux voix, quand les membres du Congrès en auront pris connaissance.

M. MASCART (France) donne, comme secrétaire de la première Section, communication des travaux de cette Section.

ff 206
296
289

La première Section n'a plus qu'une résolution à présenter au Congrès, sur la question de savoir si les fils télégraphiques et téléphoniques installés sur les toits des grandes villes sont un danger ou une protection dans les temps d'orage.

Il a paru difficile d'émettre un avis formel sur une question aussi délicate, malgré l'intérêt qu'elle présente au point de vue de la pratique, et la Section a pensé qu'il était indispensable de connaître d'abord, par une statistique étendue, la nature des accidents qui ont pu se produire sur ces lignes. La Commission internationale qui doit être chargée de faire une enquête sur les paratonnerres est naturellement indiquée pour étendre son travail aux accidents produits sur les lignes télégraphiques.

La Section propose donc de renvoyer cette question à la Commission internationale qui doit être nommée pour les paratonnerres.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que la question devait être discutée par le Congrès ; il demande à M. le Secrétaire si la Section n'a pas d'autres communications à faire.

M. J.-B. DUMAS (France), président de la première Section. Aucune autre résolution n'a été prise. Des échanges d'idées très élevées ont eu seulement lieu. Les hommes les plus éminents de la science nous ont exposé leurs travaux et leurs idées, nous ouvrant ainsi les trésors de leur

science. Ils ont droit à toute notre reconnaissance, et, comme président, je dois les remercier des peines qu'ils se sont données et des lumières nouvelles que leurs communications ont apportées à la science.

M. LE PRÉSIDENT espère que ces intéressantes discussions seront insérées dans les comptes rendus et que tout le monde en pourra profiter.

M. DUMAS demande à faire au Congrès la communication suivante :

« Le 24 septembre 1831, M. Wilhelm Weber fut nommé professeur ordinaire de physique à l'Université de Göttingue. M. Weber reçoit en ce moment de la part de ses élèves et de ses admirateurs les témoignages d'affection et de déférence les plus sympathiques. Il se souvient lui-même que de ce jour éloigné où il devint le confrère de l'illustre Gauss datent ses premiers travaux sur le magnétisme, qui l'ont conduit aux recherches électro-dynamiques qui ont rendu son nom populaire.

« Avec l'autorisation de M. le Président, j'ai l'honneur de proposer au Congrès de faire parvenir au professeur Weber un télégramme de félicitations, à l'occasion du cinquantenaire de son entrée dans la célèbre Université de Göttingue. »

Cette proposition est votée par acclamation.

M. LE PRÉSIDENT annonce que le télégramme va être rédigé et envoyé immédiatement à Göttingue.

Ce télégramme est ainsi conçu :

PROFESSEUR WILHELM WEBER.

Göttingen.

Le Congrès international des électriciens, actuellement réuni à Paris, en séance plénière, envoie à l'éminent professeur Weber ses félicitations enthousiastes et unanimes, à l'occasion de l'anniversaire cinquantenaire de sa nomination de professeur à l'Université de Göttingue. Il est heureux de pouvoir lui donner ce témoignage de son admiration pour ses beaux travaux, et de sa reconnaissance pour leurs heureux résultats.

Le Ministre des Postes et des Télégraphes, président du Congrès,
COCHERY.

Le Commissaire général, BERGER.

Les Membres du Bureau, DUMAS, GOVI, HELMHOLTZ, THOMSON.

M. LE PRÉSIDENT remet en discussion la question soulevée par M. Lartigue sur le danger présenté par la pose des fils télégraphiques et téléphoniques sur les maisons.

M. LARTIGUE (France) pense que les maisons portant des fils ne sont

pas plus exposées que les autres aux coups de foudre. Les accidents sur les maisons sont très peu nombreux et n'affectent pas plus celles qui portent des fils télégraphiques que celles qui n'en portent pas. Dans ces conditions, l'emploi des conducteurs aériens étant imposé dans bien des cas, il importe de faire disparaître les préjugés sur le danger des appareils télégraphiques, et de faciliter ainsi la pose des fils dans les villes et les campagnes.

Cette question est très importante; les communications du même genre faites par MM. Helmholtz et du Bois-Reymond à la première Section en sont une preuve.

La publication du compte rendu de cette discussion à la première Section aura d'ailleurs une heureuse influence, et les opinions émises par MM. Helmholtz, Werner Siemens et les Ingénieurs du Post-Office rassureront les populations, en leur montrant que le faible danger occasionné disparaît complètement avec les précautions employées.

Cette question du danger, de la part de la foudre, écartée, les propriétaires ne s'opposeront plus à la pose des fils sur leurs toits ; on suivra les lignes de maisons et certains itinéraires, nuisant à la sécurité par les longues portées des fils et au pittoresque en raison des grandes nappes de fils qui traversent les places, seront supprimés.

M. Helmholtz (Allemagne) ne peut que répéter ce qu'il a dit à la première Section.

M. Lartigue est peut-être plus optimiste que lui.

Des paratonnerres aux extrémités de la ligne enlèvent presque tout danger pour les maisons. Le plus grand danger lui semble être pour l'abonné, qui est exposé à des décharges latérales quand il approche l'instrument de sa bouche. Une dérivation formée par deux boules distantes de un dixième de millimètre et une bonne communication à la terre le mettraient à l'abri de tout danger.

L'orateur n'oserait affirmer que tout danger est évité pour les maisons, tant est grande la quantité d'électricité mise en jeu par un éclair au milieu d'une nappe de fils; les fils ne suffiraient pas à écouler assez vite l'électricité, et un éclair pourrait bien jaillir entre les fils et les conduites d'eau ou de gaz, ou les pièces métalliques des maisons.

Il serait préférable, en tout cas, de mettre les poteaux de fer qui supportent les fils en communication avec les parties métalliques des maisons et le sol, et d'en faire ainsi des paratonnerres.

La question ne peut pas, à l'heure actuelle, être résolue affirmativement et expressément par le Congrès.

M. Mascart. La physionomie de la discussion à la première Section n'a pas été tout à fait rendue par M. Lartigue. La Section n'a pas été si affirmative, elle est restée sur la réserve et n'a pas donné un avis formel.

Sir William Thomson (Grande-Bretagne) rappelle que l'on a discuté à la première Section la question de la préservation des magasins à poudre. Il pense qu'on écarte le danger en mettant la poudre dans des vases métalliques. La vraie protection est d'entourer complètement de fer le bâtiment. L'addition d'un paratonnerre a même un effet dangereux plutôt que préservateur :

Soit un bâtiment en fer placé sur un rocher au bord de la mer. Si, à grand'peine et à grands sacrifices d'argent, on établit une bonne communication à la mer, lorsque la foudre va éclater, le toit du bâtiment est à un potentiel très élevé, et, au moment de la décharge, un courant très intense passe à travers la maison et le paratonnerre, et peut occasionner des dégâts, notamment au point de jonction avec le conducteur de terre. Si, au contraire, on n'établit pas de communication à la terre, le bâtiment est soumis à une induction électro-statique; le toit se charge, par exemple, de fluide positif, le bas, de fluide négatif, mais le potentiel est faible, et après le coup de foudre les deux électricités se recombinent sans produire d'effet à l'intérieur de la maison, où le potentiel reste presque constant.

M. Preece (Grande-Bretagne). En Angleterre, au Post-Office, on a renoncé à l'application des paratonnerres aux téléphones, pour quatre raisons :

1° Le fil de la bobine du téléphone étant court et fin peut être regardé comme un fil préservateur;

2° Ce fil peut se remplacer aisément et à bon marché;

3° En employant le téléphone Bell-Gower, le corps de l'observateur n'est jamais assez rapproché de l'appareil pour former un circuit dérivé qui puisse recevoir le coup de foudre, puisqu'on écoute au moyen d'un long tube élastique ;

4° On n'a jamais signalé d'autres accidents que la fusion des fils des bobines.

Ces observations ont surtout pour but de rassurer les abonnés, en leur montrant que le Post-Office n'a pas jugé les paratonnerres nécessaires; mais elles ne mettent pas en doute l'avantage de ces paratonnerres, que M. Preece considère seulement comme une précaution presque superflue.

M. Bède (Belgique), dans le but de rassurer M. Helmholtz et les personnes qui ne connaissent pas, dans tous leurs détails pratiques, les

précautions prises par les administrations téléphoniques, et peuvent craindre l'action de la foudre sur le parcours de leurs lignes, fait observer qu'il faut d'abord considérer que nulle part on n'obtient des communications à la terre aussi bonnes que dans les bureaux téléphoniques, puisque c'est une condition indipensable du bon fonctionnement des appareils. En outre, les parafoudres employés sont de la plus grande simplicité : une vis en communication avec la ligne se rapproche autant que possible d'une très large plaque communiquant à la terre. On commence par amener la vis au contact, puis on l'éloigne d'une très petite quantité, seulement suffisante pour permettre d'entendre au téléphone. Une preuve de l'efficacité de ces parafoudres est celle-ci : lorsque la vis est desserrée, on entend, lors des temps orageux, de nombreux craquements dans le téléphone. Aussitôt que la vis est suffisamment rapprochée, les craquements cessent presque complètement.

En résumé, M. Bède estime que M. Lartigue a été trop timide dans ses assertions, et qu'on peut affirmer qu'un réseau serré de fils téléphoniques draine réellement l'électricité atmosphérique et la conduit à la terre.

M. Lartigue dit qu'en pareille question il ne faut pas vouloir trop prouver.

On a cité beaucoup de faits permettant d'admettre que les fils téléphoniques protègent réellement les édifices sur lesquels ils s'appuient, et notamment dans une des dernières réunions on a rappelé que, depuis la création multipliée de ces lignes, la cité de Londres a été préservée de la foudre, mais ce n'est pas cette question qui doit occuper le Congrès.

M. Lartigue demande simplement que le fait suivant soit établi : étant donnés deux groupes de maisons, l'un portant des lignes téléphoniques ou télégraphiques, l'autre n'en portant pas, il n'y a pas de chances pour qu'un des deux groupes soit plus souvent foudroyé que l'autre.

Quant à l'opinion de M. Helmholtz sur l'emploi des supports de ligne comme paratonnerres, M. Lartigue la partage complètement.

M. von Bellingen (Belgique). Il serait utile d'entendre à ce sujet les représentants des États-Unis d'Amérique. M. Graham Bell prétend que, depuis la création des lignes télégraphiques, les accidents dus à la foudre ont sensiblement diminué.

M. Mascart. M. Preece fait remarquer qu'il n'a pas prétendu mettre en doute l'utilité des paratonnerres; on les a trouvés superflus en Angleterre et on les y a supprimés; voilà tout.

M. le capitaine Botto (Italie). Si un édifice supporte un nombre considérable de lignes, et si ces lignes viennent à être traversées par la foudre, il peut en résulter pour l'édifice un sérieux danger. Il serait utile de

réunir à la terre et à toutes les masses métalliques de l'édifice le poteau qui sert de support aux lignes.

M. Ayrton (Grande-Bretagne). On pense ordinairement qu'un courant capable de détruire la bobine d'un instrument est nécessairement capable de charger suffisamment un point du circuit, pour donner lieu à une décharge disruptive à travers une mince couche d'air. Cela peut ne pas être exact; un courant d'une intensité trop faible pour donner lieu à une décharge, peut brûler une bobine s'il est suffisamment prolongé. Aussi M. Ayrton a-t-il proposé la disposition suivante : Faire passer le courant dans les spires d'un petit électro-aimant à très légère armature; de manière que le courant ordinaire ne suffise pas à actionner cette armature, et qu'un courant plus fort l'actionne et mette la ligne à la terre.

M. Ayrton a essayé cet appareil et a constaté qu'il arrête un grand nombre de courants de tension assez faible pour ne pas être conduits à la terre par un paratonnerre ordinaire, et possédant cependant l'intensité suffisante pour avarier les appareils.

M. Orduña y Muñoz (Espagne) raconte le fait suivant : un orage ayant éclaté sur la ligne de Madrid à Victoria, à six lieues de cette dernière ville, l'étincelle électrique suivit la ligne télégraphique; elle foudroya une maisonnette qui supportait le fil, puis, pénétrant dans le bureau de Victoria, elle fondit les appareils. Il croit pouvoir conclure de ce fait que les fils télégraphiques nuisent aux maisons qui les supportent.

M. du Moncel (France) oppose à M. Ayrton cette expérience qu'il a faite jadis : il lançait le courant d'une bobine de Ruhmkorff dans un double circuit; l'une des branches du circuit renfermait une bobine, l'autre une solution de continuité; deux galvanomètres permettaient de constater le passage du courant dans les deux branches. L'expérience prouva que le courant était nul dans le circuit de la bobine et passait, au contraire, dans la seconde branche.

M. Mac Lean (États-Unis d'Amérique). En Amérique, sur les lignes télégraphiques et téléphoniques, on n'emploie pas de paratonnerres pour les poteaux des lignes télégraphiques, mais seulement pour les bureaux. Les paratonnerres sont composés de deux plaques, de cuivre ou d'autre métal, très rapprochées. Les appareils sont quelquefois brûlés. Mais il n'y a jamais eu d'accidents de personnes.

M. Botto, en réponse à sir William Thomson, cite le cas d'un magasin à poudre placé sur un rocher et parfaitement isolé par un paratonnerre ordinaire simplement planté dans le roc.

M. Ayrton. Les faits démontrés par l'expérience de M. du Moncel ne

prouvent pas l'inutilité de mon paratonnerre; en effet, deux sortes de courants peuvent détruire un appareil : un courant instantané et très fort ou bien un courant moins fort et plus persistant.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que la première Section a proposé de renvoyer à la Commission internationale des paratonnerres l'étude de la question proposée par M. Lartigue, et qu'il doit consulter le Congrès.

La proposition, mise aux voix, est adoptée à l'unanimité.

La parole est donnée à M. le Président de la deuxième Section pour rendre compte des travaux de cette Section.

M. MILITZER (Autriche). La deuxième Section s'est occupée, dans ses deux séances des 22 et 23 septembre, des questions qui concernent l'établissement des lignes télégraphiques et téléphoniques.

La Commission choisie pour se prononcer sur les meilleures conditions d'établissement des lignes a produit, dans la première des deux séances mentionnées, son rapport sur une partie de ses travaux, dont elle a concentré les points saillants en plusieurs observations accompagnées des deux vœux suivants :

« 1. Une entente sera établie entre les administrations télégraphiques des divers pays, à l'effet d'instituer des expériences périodiques de mesures sur les fils internationaux.

« 2. Dans les marchés et publications, on ne désignera désormais, dans tous les pays, les fils que par leur diamètre exprimé en millimètres ou fractions de millimètre, à l'exclusion de toute autre indication de jauge. »

Ces deux vœux ont été mis aux voix, et ils ont été adoptés à l'unanimité.

La séance du 23 septembre a été consacrée entièrement à la discussion très étendue des moyens à employer pour installer des lignes téléphoniques et pour soustraire ces lignes autant que possible aux difficultés provenant de la multiplicité des fils et des effets nuisibles d'induction d'un fil sur l'autre.

A la suite de son discours sur les lignes téléphoniques en Belgique, M. Bède avait proposé d'émettre le vœu que les gouvernements fussent invités à bien vouloir faciliter à l'avenir l'extension des réseaux téléphoniques.

Ce dernier vœu a été abandonné à la suite d'une entente entre M. le Président et M. Bède, promoteur du vœu.

M. LE PRÉSIDENT met aux voix le vœu de la deuxième Section, relatif à l'unification des termes adoptés pour désigner les diamètres des fils télégraphiques.

La proposition est adoptée à l'unanimité.

M. Dumas propose au Congrès d'inviter M. Alluard, le savant directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme, à dire quelques mots sur les appareils de protection qui ont été installés à cet Observatoire.

M. Alluard (France). Le Puy-de-Dôme est une montagne isolée, de 1,470 mètres d'altitude. Lorsqu'il fallut préserver de la foudre l'observatoire bâti à son sommet, une grande difficulté se présenta pour trouver des nappes d'eau conductrices. On songea à utiliser la mince couche de terre végétale humide située à $0^m,30$ de profondeur, et les résultats furent très satisfaisants. Un grand mât de fer sert de paratonnerre et le conducteur pénétrant dans cette couche de terre ne présente qu'une longueur de 150 mètres.

M. Alluard rappelle que le feu Saint-Elme illumine souvent l'extrémité du paratonnerre.

Une communication télégraphique existe entre la Faculté de Clermont-Ferrand et l'observatoire établi au sommet du Puy-de-Dôme; les deux extrémités de la ligne sont à une différence d'altitude de 1,070 mètres. Afin de dériver à la terre les décharges provenant du sommet du Puy-de-Dôme, on a placé, sur une longueur de 400 mètres, à partir du point où la ligne s'élève le long des pentes de la montagne, un deuxième fil au-dessus du premier et mis ce deuxième fil en fréquentes communications avec la terre. Cette disposition a parfaitement réussi. M. Alluard a également constaté la sensibilité du téléphone qui fonctionne encore lorsque la ligne est en assez mauvais état pour que l'appareil Morse ne puisse plus fonctionner.

M. Sebert (France), secrétaire de la troisième Section, résume dans les termes suivants les travaux de la Section :

Conformément à l'invitation qui lui en avait été faite par le Congrès dans sa dernière séance, la troisième Section a repris, à nouveau, la discussion sur les procédés de mesure des intensités lumineuses.

Cette discussion, qui s'est étendue aux étalons lumineux ainsi qu'aux méthodes photométriques et aux précautions à observer dans leur emploi, a occupé deux séances entières.

Il suffira de citer les noms de quelques-uns des orateurs qui y ont pris part : parmi les savants étrangers, MM. Warren de la Rue, Helmholtz, William et Werner Siemens, Gladstone, Shoolbred, Tchikoleff, Ayrton; et parmi les savants français, MM. Dumas, Becquerel, Cornu, Crova, Violle, Le Blanc, pour faire comprendre à quelle hauteur la discussion a pu s'élever et quel intérêt elle a pu présenter.

A la suite de ces échanges d'idées, la troisième Section a vu s'augmenter sa conviction sur les deux points suivants : on ne connaît pas

actuellement une méthode photométrique applicable à la mesure du pouvoir éclairant des foyers électriques, qui présente des avantages suffisants pour mériter d'être recommandée à l'exclusion de toute autre. La réunion d'une Commission internationale est nécessaire pour effectuer la comparaison des différentes méthodes en usage ou proposées, et arriver au choix d'un procédé susceptible d'être adopté et employé d'une façon uniforme dans les différents pays.

D'autre part, elle a reconnu que les avantages que présentent respectivement, pour certaines mesures spéciales, les étalons lumineux en usage, et spécialement la bougie et le bec Carcel, justifient la conservation, au moins à titre provisoire, de ces deux types d'unité; mais elle a reconnu aussi que, dans cette hypothèse, il conviendrait de déterminer d'une façon plus précise la valeur comparative de ces étalons. Elle a pensé que la Commission qui serait chargée de l'étude des différents procédés photométriques pourrait commencer ses travaux par cette détermination.

Mais comme les travaux du Jury qui vont commencer comporteront des mesures de pouvoir éclairant pour lesquelles il importe d'adopter un terme unique de comparaison, et comme ici, à Paris, on peut disposer facilement de lampes Carcel réglées pour donner le bec-type ; que d'ailleurs cet étalon de lumière s'approche plus que la bougie de la valeur du pouvoir éclairant des foyers qu'il s'agit de comparer, la section a pensé qu'il y avait lieu de recommander au Jury l'emploi du bec Carcel comme étalon de lumière.

Ces conclusions sont résumées dans un vœu dont la rédaction a été préparée par M. Warren de la Rue et auquel se sont ralliés MM. Dumas et William Siemens après introduction d'un membre de phrase additionnel.

Ce vœu est ainsi conçu :

La troisième Section propose :

1° Que le Congrès recommande au Jury l'emploi de la lampe Carcel dans les comparaisons photométriques faites avec les divers appareils de lumière électrique exposés ;

2° Que le Gouvernement français veuille bien se mettre en rapport avec les Gouvernements étrangers, à l'effet de nommer une Commission internationale qui sera chargée de la détermination de l'étalon définitif de lumière et des dispositions à observer dans l'exécution des expériences de comparaison.

Ce vœu remplacerait les trois propositions que la troisième Section avait d'abord formulées au sujet de la question de la mesure des intensités lumineuses; il a été adopté à l'unanimité.

Les autres questions qui étaient inscrites au programme de la Section n'étaient pas classées par ce programme comme devant donner lieu à une convention internationale et ne présentent pas, en effet, le caractère de questions susceptibles d'être réglées par une entente commune.

Aucune question présentant ce même caractère n'a été soulevée par l'initiative des membres. Conformément donc à la décision prise par le Congrès dans sa dernière séance, la Section n'avait qu'à renvoyer aux séances publiques des Sections réunies la suite de la discussion des questions inscrites à son programme, et c'est ce qu'elle a fait en votant la clôture de ses séances particulières.

Les questions non épuisées qui figuraient à son programme et qui devront être traitées en séance publique des sections réunies, sont celles groupées sous les titres suivants :

Applications diverses de l'éclairage électrique ;

Transmission des forces à distance et distribution industrielle de l'électricité ;

Horlogerie et chronographie électriques ;

Électro-métallurgie.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture du vœu de la troisième Section. Les deux paragraphes sont adoptés à l'unanimité. M. le Président demande si quelqu'un a des observations à faire sur le procès-verbal de la dernière séance.

M. NYSTRÖM (Suède) déclare ne pas avoir approuvé les conclusions de la Commission des unités. (Voir Annexe I, page 64).

M. LE PRÉSIDENT fait observer que cette déclaration laisse intact le vote du Congrès ; il met aux voix l'adoption du procès-verbal.

Le procès-verbal est adopté à l'unanimité.

M. SMITH (Grande-Bretagne) propose que l'étude de l'électricité atmosphérique soit renvoyée à la Commission internationale des courants terrestres.

En réponse à la proposition de M. Smith, M. LE PRÉSIDENT, d'accord avec le Congrès, déclare que le Bureau pourra fusionner les diverses Commissions internationales établies par les différents votes, quitte à demander plus tard l'avis du Congrès.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer que les questions qui doivent être traitées dans les séances publiques du Congrès, sections réunies, étant empruntées au programme primitivement admis pour les travaux des sections, il paraît nécessaire que les Bureaux des trois sections soient repré-

sentés dans le Bureau spécial qui devra être constitué pour la présidence de ces séances.

Il propose, en conséquence, de composer ce Bureau, pour ces séances publiques, de la manière suivante :

MM. Dumas, *président.*
Hughes, *vice-président.*
Militzer, *vice-président.*
Gérard, *secrétaire.*
Sebert, *secrétaire.*

Cette proposition est adoptée.

M. le Président annonce au Congrès que MM. Ayrton et Melsens se proposent de faire les Conférences publiques suivantes :

M. Ayrton, le mercredi 28 septembre, à huit heures et demie du soir, sur *l'usage économique des moteurs à gaz pour la production de l'électricité ;*

M. Melsens, le jeudi 29, à la même heure, sur *les paratonnerres.*

Le Congrès, consulté, décide que la séance plénière suivante aura lieu le mercredi 28 septembre à deux heures.

La séance est levée à quatre heures vingt minutes.

ANNEXE I

NOTE COMMUNIQUÉE PAR M. NYSTRÖM

SUR LA QUESTION DES UNITÉS

Le vase nommé *litre,* que nous fournit la Commission internationale des mesures, est la représentation matérielle de la *capacité* de volume, quand il s'agit de matières ordinaires. De même, la boîte nommée *microfarad,* que nous fournit le constructeur, pour la mesure électrique, est la représentation matérielle d'une *capacité* de volume.

Pour la détermination quantitative, d'après les mesures de volumes, d'une matière ordinaire compressible, il faut connaître le *degré de compression* de la matière mesurée. De même, pour la détermination quantitative de l'électricité, d'après les mesures exécutées moyennant la boîte mentionnée ci-dessus, il faut connaître le degré de compression de l'électricité qui passe par la boîte.

Pour la détermination quantitative directe des matières ordinaires, on a recours à la balance. Il n'en est pas de même pour la détermination quantita-

tive de l'électricité. Or, pour cette dernière détermination, il ne resterait que la méthode indirecte : la mesure des volumes dont la densité soit déterminée d'une manière convenable. Par conséquent, il faudrait, pour la mesure électrique, une combinaison de la mesure du volume avec celle de la densité. Mais les électromètres construits jusqu'ici n'indiquant pas la tension électrique d'une manière satisfaisante, cette méthode n'est pas applicable dans la pratique. On est donc obligé de mettre en mouvement la charge électrique, dont la quantité sera déterminée, pour faire la lecture avec un galvanomètre, instrument dont on se sert aussi pour la mesure du courant continu. Donc, dans l'un et l'autre cas, ce sont les effets de l'électricité mise en mouvement que l'on mesure. La différence ne se rapporte qu'à l'état préalable de l'électricité ou à la durée de l'influence du courant électrique sur l'instrument.

Pour la mesure des matières ordinaires, il est indifférent que ces matières soient en repos ou en mouvement. De même, la mesure électrique doit être la même, sans considérer si la matière électrique se trouve (ou s'est trouvée) dans l'état de repos ou dans l'état de mouvement.

Si, deux mesures différentes étant acceptées, l'application de l'une ou de l'autre dépendait de la durée de l'influence du courant sur l'instrument employé pour la lecture quantitative, on arriverait sans doute à des confusions nouvelles, dans les cas où cette influence ne serait ni momentanée ni continue.

La quantité d'une matière ordinaire comprise entre les parois du vase nommé *litre*, a été nommée *litre*. De même, il me semble que la quantité d'électricité comprise, sous la pression d'un volt, dans la boîte nommé *microfarad*, doit être nommée *microfarad*.

Les divisions des mesures adoptées pour les matières ordinaires sont convenablement arrangées pour les quantités différentes de ces matières, afin d'éviter des expressions numériques incommodes. De même, les divisions de mesures quantitatives électriques doivent être adaptées aux quantités respectives. Le millifarad (= 0,001 de farad) est la division convenable pour la mesure des quantités électriques ordinairement en mouvement, pour la transmission télégraphique, etc.

Il serait à désirer que la quantité du millifarad indiquée ci-dessus fût, sous le nom du farad, l'unité quantitative électrique; le microfarad actuel serait donc nommé *millifarad*.

Au lieu des trois unités et des trois dénominations *ampère*, *coulomb* et *farad*, proposées par la Commission, on aurait donc une mesure unique et une dénomination unique, *farad;* ce qui fournirait un avantage précieux, du moins à la pratique.

D'après le système ainsi indiqué, on aurait les dénominations suivantes :

Pour l'unité de	force électro-motrice.	*le volt.*
—	résistance	*l'ohm.*
—	capacité	*le farad.*
—	quantité de charge.	*le farad.*
—	quantité par seconde.	*le farad.*

Le farad nouveau étant = 0,001 d'un farad actuel ;
$\frac{1 \text{ volt}}{1000 \text{ ohms}}$ produisant par seconde 1 farad (nouveau);

La boîte, maintenant nommée *microfarad*, représenterait donc, sous le nom de *millifarad*, la capacité d'un millifarad = 0,001 farad (nouveau), c'est-à-dire la capacité de com-

prendre en elle-même, sous la pression d'un volt, 1 millifarad d'électricité, ou, en d'autres termes, la même quantité que produit, par seconde, le courant $= \frac{1 \text{ Volt}}{1000000 \text{ ohms}}$.

Dans un mémoire spécial soumis à la Commission de la première Section, j'ai essayé de montrer que le terme « intensité », dans le sens qui lui a été attribué dans le domaine de l'électricité dynamique, est tout à fait impropre, et qu'il devrait par conséquent sortir de ce domaine au lieu de recevoir une consécration spéciale.

La solution de la question soulevée ici est inférieure, je l'avoue, à celle qui vient d'être proposée par la Commission, en ce qu'elle est moins complaisante pour les nationalités et les personnalités des savants éminents à qui nous devons les progrès de la science électrique ; mais ces grands hommes, eux-mêmes, ont été assez magnanimes pour faire prévaloir l'intérêt de la science et du technique contre la complaisance personnelle et même internationale.

ANNEXE II

COMMUNICATION DE M. SOMZÉE (BELGIQUE)

Une ligne téléphonique aboutissant à la terre par ses deux extrémités, constitue théoriquement un système préservatif de la foudre pour les constructions au-dessus desquelles le fil passe.

Mais pour que cette préservation soit efficace, il faut qu'il y ait une *bonne terre*, c'est-à-dire que le contact des extrémités de la ligne avec la terre permette l'écoulement facile du fluide dans le sol.

Le système de construction adopté aujourd'hui pour la prise de terre ne répond pas à cette condition.

Un fil téléphonique soutenu par des isolateurs, fixés à des poteaux, est suffisamment isolé pour ce qui regarde les courants de piles nécessaires au fonctionnement des appareils, mais s'il s'agit d'électricité de haute tension comme il s'en produit lors de forts orages, cet isolement n'est pas absolu et le système métallique actuel *peut devenir un danger*.

Nous parlons ici des lignes actuelles telles qu'on les établit aujourd'hui. *Mais on peut* toujours construire un réseau téléphonique de manière que tout le fluide de nom contraire soit écoulé facilement dans le sol ; il suffit pour cela que la ligne téléphonique ne soit pas trop longue, car un fil très long peut acquérir une très forte tension sous l'influence de nuages fortement électrisés, et, dans ce cas, ce fil peut servir de conduit à la foudre pour aller frapper un point voisin, ou bien la décharge peut rompre le fil et se précipiter alors à une distance plus ou moins considérable sur un objet offrant peu de résistance à la neutralisation des fluides.

L'expérience est venue confirmer les appréciations d'Arago dans cette ques-

tion, et aujourd'hui on est arrivé à constater que le voisinage d'un fil télégraphique expose non seulement au danger des étincelles d'induction, mais aux atteintes directes de la foudre.

Nous concluons à l'application aux réseaux téléphoniques des conditions d'établissement qui régissent les paratonnerres, assimilant les fils à de véritables paratonnerres qui ne seraient pas reliés à une bonne terre.

Je conclus donc à l'application aux poteaux téléphoniques d'un système de peignes métalliques permettant, en cas de foudroiement, l'écoulement des fluides si les fils ont une trop grande résistance ; ces peignes seraient posés à tous les poteaux et reliés, au moyen de fils d'un diamètre supérieur à quatre millimètres, à une bonne terre, c'est-à-dire aux conduites de gaz ou d'eau qui ne manquent pas à proximité des constructions ; nous n'avons pas besoin de dire que les peignes métalliques seraient disposés sur une certaine longueur de fils et parallèlement à ceux-ci ; autrement disposés, ces peignes n'auraient jamais d'autre effet que celui d'un véritable paratonnerre, système Melsens, protégeant *seulement* la zone donnée par la hauteur à laquelle l'aigrette se trouve placée.

De cette façon, les fils télégraphiques et téléphoniques constitueraient un véritable réseau protecteur de la foudre pour toutes les villes qui en seraient pourvues.

ANNEXE III

COMMUNICATION DE M. NEUJEAN (BELGIQUE)

Rentrant dans les idées d'un grand nombre de membres du Congrès, de faciliter la réunion des électricités et de rapprocher les points où la communication peut se faire et la reconstitution de l'électricité neutre ou la neutralisation des deux électricités s'opérer sans éclat, je crois que l'idée émise par M. Somzée, de forcer les compagnies téléphoniques à donner à leurs réseaux aériens de bonnes communications avec un sol bon conducteur, est des plus justes et doit être appliquée.

Les paratonnerres de M. Melsens, à pointes multiples, doivent donc aussi donner les meilleurs résultats, et je proposerai que les diverses pointes de ces paratonnerres soient reliées par des fils métalliques, de façon à former au-dessus des bâtiments un vrai réseau préservateur.

CINQUIÈME SÉANCE

28 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. AD. COCHERY
Ministre des Postes et des Télégraphes.

M. le Président déclare la séance ouverte à deux heures cinq minutes.

Le procès-verbal de la dernière séance est distribué. Son adoption sera mise aux voix quand les Membres du Congrès en auront pris connaissance.

La parole est donnée au Président de la première Section pour rendre compte des travaux de cette Section.

M. Dumas (France) annonce que la première Section ne s'est pas réunie depuis la dernière séance plénière.

M. Militzer (Autriche), président de la deuxième Section, donne lecture du procès-verbal des travaux de la Section. Celle-ci soumet à l'appréciation du Congrès les deux vœux suivants :

1° Pour compléter un vœu déjà émis par la deuxième Section et approuvé par le Congrès, il sera entendu que, pour les fils recouverts et les câbles, toutes les mesures d'épaisseur seront également désignées en millimètres et fractions de millimètres.

2° Le Congrès, en se ralliant aux vœux relatifs à la conservation des arbres à gutta-percha, désire signaler aux intéressés l'utilité des mesures qu'il conseille.

Ces deux vœux sont adoptés à l'unanimité.

Le colonel Sebert (France), rapporteur de la troisième Section, déclare qu'il n'y a pas eu de séance de cette Section depuis la dernière réunion plénière, et prie le Congrès de fixer à bref délai la date de la séance des Sections réunies pour achever les discussions restées en suspens.

Cette séance est fixée au vendredi 30 septembre à deux heures.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu une lettre de M. Marcel Deprez demandant que la question de la distribution et de la division des courants électriques soit discutée en séance plénière.

M. CABANELLAS (France) appuie cette proposition.

M. LE PRÉSIDENT déclare que cette question sera ajoutée à la suite de l'ordre du jour.

M. DU BOIS-REYMOND (Allemagne), président et rapporteur de la Sous-Commission d'électro-physiologie nommée par la première Section, donne lecture du rapport suivant :

CONCLUSIONS ADOPTÉES PAR LA SOUS-COMMISSION D'ÉLECTRO-PHYSIOLOGIE NOMMÉE PAR LA PREMIÈRE SECTION DU CONGRÈS INTERNATIONAL DES ÉLECTRICIENS

M. E. du Bois-Reymond, *rapporteur*. MEMBRES : MM. d'Arsonval, E. du Bois-Reymond, Christiani, Gariel, Helmholtz, Joubert, Lippmann, Marcel Deprez, Marey, Rossetti, Terquem, de Ziemssen.

Nécessité de définir d'une façon scientifique les courants dont on fait usage dans les opérations médicales, et d'en rattacher la mesure aux unités électriques.

Elle a cru devoir scinder cette question en deux, l'une se rapportant aux opérations médicales proprement dites, c'est-à-dire au traitement des maladies par les courants continus ou discontinus ; l'autre aux expériences de laboratoire faites sur les muscles et les nerfs des animaux dans un but scientifique.

Les courants continus employés dans les opérations thérapeutiques ne peuvent être mesurés qu'après que le courant aura subi la diminution d'intensité résultant de la résistance de l'épiderme, etc. Il sera utile aux praticiens de se servir, à cet effet, de galvanomètres gradués en unités se rattachant au système C. G. S., comme M. d'Arsonval l'a proposé, et comme cela se fait déjà à Munich. L'électro-thérapeute, dès lors, pourra dire qu'il a cru obtenir tels et tels effets à l'aide d'un courant de telle et telle intensité absolue. La Sous-Commission recommande aussi, pour les opérations médicales, l'emploi des électrodes impolarisables de M. Hitzig, construites sur le modèle de celles de M. du Bois-Reymond, dont il va être question tout à l'heure. Avec ces électrodes plus de douleurs et plus d'érythème.

Quant à la définition des courants discontinus, il ne semble guère

nécessaire en électro-thérapie de la donner autrement que par la distance des deux bobines de l'appareil à traîneau de M. du Bois-Reymond, pourvu qu'on veuille se conformer, comme cela se fait assez généralement en Allemagne, à un certain modèle, et se servir, dans le circuit inducteur, d'une pile toujours identique, par exemple d'un élément de Daniell. La Sous-Commission recommande le modèle adopté après une longue expérience dans le laboratoire de physiologie de l'Université de Berlin [1].

Passant à la seconde partie de la première question, la Sous-Commission a pensé que dans les cas ordinaires d'excitation, tels qu'ils se rencontrent en physiologie expérimentale, l'appareil à traîneau, modèle du Bois-Reymond, suffira également. Il sera difficile de trouver quelque chose de plus commode pour tétaniser, par exemple, le nerf vague, la portion cervicale du nerf sympathique, etc. On pourra, dans les expériences de ce genre, se servir sans inconvénient d'électrodes en platine recourbées en crochet, sur lesquelles on placera l'extrémité des filets nerveux coupés. Pour commencer et pour terminer instantanément l'action des courants sur le nerf et pour se mettre à l'abri des contractions unipolaires, il conviendra d'avoir recours à l'artifice indiqué par M. du Bois-Reymond, qui consiste à ouvrir et à fermer aux instants voulus une de ses clefs, intercalée dans le circuit, de manière que le levier en constitue, pour le nerf, un circuit dérivateur d'une résistance insensible au point de vue pratique.

Mais qu'il s'agisse des effets du courant sur les nerfs isolés de la grenouille, les conditions d'une expérimentation rigoureuse deviennent beaucoup plus difficiles à remplir.

Le trembleur de l'appareil à traîneau, dans sa forme primitive, est loin d'offrir les garanties nécessaires d'uniformité d'action. Il faudra le remplacer par un diapason vibrant, muni d'un style en platine, plongeant dans du mercure au-dessous d'une couche d'alcool sans cesse renouvelée par le tube laveur de M. Kronecker. M. d'Arsonval a aussi indiqué un procédé pour conserver nette la surface du mercure.

Pour régulariser l'action de l'interrupteur, M. Helmholtz a muni l'appareil à traîneau d'un dispositif qui met fin, ou à peu près, à la différence qui, avec le dispositif ordinaire, subsiste entre le courant induit par la clôture et celui induit par la rupture du circuit inducteur. Le modèle de l'appareil à traîneau recommandé plus haut est muni du dispositif Helmholtz.

Toutefois, en faisant usage de l'appareil à traîneau ainsi modifié,

1. Ces appareils sont fabriqués par M. Krüger, 20, Simeon Str., à Berlin.

l'expérimentateur se trouvera toujours restreint à l'usage d'un certain nombre, plus ou moins considérable, mais peu ou point variable, d'excitations élémentaires dans l'unité de temps, et même chacune de ces excitations sera définie d'une manière très imparfaite. Or, pour l'étude exacte de l'action des courants sur les nerfs, voici les conditions qu'il faudrait pouvoir réaliser à volonté. Il faudrait :

1° Disposer d'une courbe d'intensité de forme connue, et aussi simple que possible, linéaire si cela pouvait se faire, ou, pour le moins, sinusoïdale ;

2° Pouvoir faire varier le paramètre de cette courbe, ou l'inclinaison de la droite, dans le cas où elle serait linéaire ;

3° Pouvoir reproduire l'excitation élémentaire ainsi définie à des intervalles de temps plus ou moins longs, sans que le caractère de l'excitation élémentaire s'en ressente ;

4° Pouvoir aussi faire à volonté alterner le sens des décharges consécutives passant par le nerf.

Plusieurs dispositifs sont propres à satisfaire au moins à une partie de ces conditions. M. de Fleischl, de Vienne, a décrit un appareil qu'il nomme Rhéonome, et dans lequel une lame de zinc amalgamé parcourt une rainure circulaire remplie d'une solution saturée et neutre de sulfate de zinc. La colonne liquide formant un circuit dérivateur par rapport au nerf, et certaines conditions de résistance étant remplies, la courbe d'intensité du courant dans le nerf devient une droite dont l'inclinaison est proportionnelle à la vitesse de rotation imprimée à la lame.

Deux autres projets d'expérimentation qui visent un but semblable ont été présentés à la Sous-Commission. L'un, suggéré par M. Joubert et modifié dans le cours de la discussion par M. Helmholtz, consisterait à imprimer un mouvement rotatoire ou d'oscillation à un barreau aimanté placé en présence d'une bobine. Il sera aisé de faire en sorte que la courbe d'intensité des courants soit sinusoïdale. La bobine restant stationnaire, il n'y aurait pas à se préoccuper des variations de résistance. Il est vrai que les variations d'intensité du barreau aimanté constitueraient une nouvelle cause d'erreurs. En ayant recours au champ magnétique du globe terrestre, on renoncerait à l'avantage de maintenir constants les contacts dans le circuit induit ; d'ailleurs il faudrait, en ce cas, employer des bobines de dimensions très considérables.

M. Helmholtz a encore conçu le projet d'une méthode reposant sur un principe tout à fait différent. Qu'on imagine un disque métallique immobile, découpé d'après un certain patron, et communiquant avec l'un des

pôles d'une pile. Dans un plan parallèle à celui de ce disque, et très près de l'une de ses faces, se mouvrait un second disque, découpé à son tour d'après un certain patron, et communiquant par le nerf, soit avec la terre, soit avec l'autre pôle de la pile. Il sera facile de donner aux deux disques une forme telle que les charges et décharges résultant de l'induction électro-statique exercée par l'un des disques sur l'autre se fassent d'après une loi voulue. La Sous-Commission croit devoir recommander aux physiologistes occupés de la physiologie générale des muscles et des nerfs, l'essai de ce procédé qui lui paraît susceptible d'une grande précision.

Quel que soit le mode d'excitation qu'on emploie, le plus grand soin devra être apporté à la manière dont le nerf sera placé dans le circuit. Il ne faut jamais, dans des expériences tant soit peu exactes, toucher les nerfs avec des électrodes métalliques. Non seulement il y a polarisation au contact de tous les métaux, même du zinc pur ou amalgamé, mais aussi les nerfs sont altérés chimiquement par les produits électrolytiques. La seule manière irréprochable d'introduire le nerf dans le circuit, c'est de faire usage : 1° du zinc amalgamé plongeant dans une solution concentrée et neutre de sulfate de zinc; 2° d'interposer entre cette solution, qui attaquerait également la substance du nerf, de l'argile plastique des sculpteurs, pétrie avec une solution de chlorure de sodium à $\frac{6}{10}$ pour 100 d'eau. Cette solution, dont l'usage a été introduit par M. de Koniker, mérite le nom de solution physiologique qu'on lui donne en Allemagne, en tant que les muscles et les nerfs y conservent l'état de survie aussi longtemps que s'ils étaient restés dans le corps de l'animal tué.

Ceci mène à la seconde question proposée à la Sous-Commission, savoir : *Quels sont les meilleurs moyens à employer pour déterminer la nature des phénomènes électriques qui se produisent chez les animaux.*

Dans toutes les expériences d'électricité animale, il faut faire usage, pour dériver les courants, d'électrodes impolarisables telles qu'elles viennent d'être décrites. On leur donnera, en général, deux formes différentes ; pour les muscles ou pour les parties d'organes électriques, on se servira des vases rhéophores en zinc (modèle du Bois-Reymond) ; pour l'étude de la variation négative du courant nerveux ou de l'électro-tonus, on préférera les électrodes se terminant en pointe d'argile, qui sont aussi les meilleures pour introduire dans les nerfs les courants excitateurs.

Il n'y a que les poissons électriques à l'état de vie et de santé, chez qui les différences de potentiel soient assez considérables pour n'avoir pas à tenir compte du manque d'homogénéité des électrodes.

Quant aux appareils propres à étudier et à mesurer les effets électriques des tissus animaux et végétaux, il faudra faire usage, à tour de rôle, suivant la nature des questions à traiter, de tous les instruments capables de fournir des renseignements sur l'intensité et les variations des courants électro-physiologiques, dans différentes circonstances.

Pour l'étude des courants continus ou à variations lentes, le meilleur moyen à employer est la boussole à miroir, modèle du Bois-Reymond, rendue apériodique par l'addition du barreau compensateur de Haüy [1]. On y joindra le compensateur circulaire de M. du Bois-Reymond, qui, à l'aide d'une simple mesure de longueur, permet d'évaluer en dix millièmes de Daniell, les différences de potentiel à la surface des électromoteurs organiques. En général, si les courants sont d'intensité variable, la boussole ne fournira que l'aire de la courbe des intensités, mais combinée avec le *rhéotome différentiel* de M. Bernstein, elle donne les ordonnées successives de la courbe, par exemple, dans le cas de la variation négative du courant musculaire ou nerveux, après une irritation instantanée.

Il n'y a pas jusqu'à la décomposition de l'iodure de potassium qui ne puisse être utilisée, dans certains cas, pour l'étude des courants électro-physiologiques.

Dans d'autres cas, lorsqu'il s'agit de variations plus ou moins instantanées, il faudra substituer à la boussole des appareils à indications plus rapides. C'est ainsi que, dès le début de ses recherches d'électricité animale, M. du Bois-Reymond, en développant une méthode due à Galvani et à Matteucci, a fait usage de la préparation que l'on nomme grenouille rhéoscopique.

Le génie inventif de M. Lippmann a doté la science d'un appareil très précieux pour l'exploration des courants à variation rapide, et qui pourra être d'une grande utilité dans l'étude soit des décharges des poissons électriques, soit des variations brusques des courants musculaires et nerveux. L'électromètre capillaire est d'un usage sûr et facile, et d'une sensibilité égale, sinon supérieure, à celle de la meilleure boussole. Avec les précautions nécessaires, on pourra, avec son aide, mesurer entre certaines

1. On appelle apériodique le mouvement d'une aiguille aimantée qui n'oscille plus, mais va occuper sa nouvelle position d'équilibre sous l'empire d'un courant, sans la dépasser visiblement, et retombe de même vers le zéro, qu'en théorie elle n'atteint qu'après un temps infini. Cet état commence à se manifester dès qu'il existe un certain rapport, très facile à établir en pratique, entre la force amortissante et la force directrice diminuée par le barreau compensateur de Haüy. Dans ces conditions, le temps de la chute, si l'on peut l'appeler ainsi, de l'aiguille aimantée vers une nouvelle position d'équilibre, est un minimum, qui, dans de bonnes conditions, ne dépasse pas 5 secondes.

limites les différences de potentiel des électromoteurs organiques. En photographiant ces indications, comme le propose M. Marey, on parviendrait même à connaître la forme de la courbe des intensités, et à fixer l'image des phénomènes. Quant à la meilleure forme à donner à l'électromètre capillaire, il faudra des essais ultérieurs. Le modèle de M. Christiani est probablement, à l'heure qu'il est, le plus recommandable pour les physiologistes.

Il y a des cas enfin, comme celui des poissons électriques, où le téléphone, en vertu de son application facile, de sa sensibilité exquise et de la rapidité instantanée de ses indications, peut rendre d'excellents services.

Est-il nécessaire d'ajouter que les meilleures méthodes d'observation et d'expérimentation resteront infructueuses sans une critique expérimentale vigilante et consciencieuse, aussi éloignée d'une crédulité aveugle que d'un pyrrhonisme non moins préjudiciable au progrès des connaissances humaines.

A la suite de cette communication, M. Mercadier (France) dit que l'emploi d'interrupteur à mercure donne de très mauvais résultats en chronographie; que M. Lissajous et lui-même ont été obligés d'y renoncer et de revenir au contact entre métaux solides.

M. Helmholtz (Allemagne) fait remarquer que la Sous-Commission a proposé l'emploi du commutateur à mercure non pour la chronographie, où il est effectivement mauvais, mais seulement pour obtenir des excitations toujours de même intensité dans un nerf.

M. van Rysselberghe (Belgique) propose, au nom de l'Observatoire de Bruxelles, un projet de télémétéorographie internationale, qui remplacerait avec avantage les télégrammes de service, dont les instituts météorologiques font actuellement l'échange.

L'orateur insiste sur la dépense de ces dépêches qui, pour l'ensemble des États de la moitié nord-ouest de l'Europe, s'élève à 300,000 francs par an, soit 6 millions de francs en vingt années. Avec le quart seulement de cette somme, on pourrait installer, entretenir et remplacer tous les vingt ans, un réseau de fils télégraphiques spécialement affecté au service météorographique. Le télémétéorographe permet d'enregistrer en plusieurs centres la température, la hauteur barométrique, la direction et l'intensité du vent, etc., d'un grand nombre de postes d'observation. Des stylets gravent directement sur métal ces indications, et la planche toute préparée peut servir immédiatement au tirage. Ce système fonctionne déjà en Belgique. Des expériences ont été faites sur des lignes télégraphiques

de 600 à 1,000 kilomètres de résistance, et, depuis l'ouverture de l'Exposition, entre Paris et Bruxelles, les résultats sont très satisfaisants. Actuellement, les divers pays ne reçoivent guère avant midi ou une heure l'état de l'atmosphère en Europe, telle qu'elle se présente à huit heures du matin; c'est insuffisant pour établir la prévision du temps d'une façon satisfaisante. Si le système proposé était adopté, chaque institut central connaîtrait à tout instant l'état de l'atmosphère dans toute l'Europe et la prévision du temps se ferait d'une façon plus certaine.

M. VAN RYSSELBERGHE termine en proposant le vœu suivant :

« Le Congrès, après avoir pris connaissance du système de télémétéorologie organisé en Belgique par l'Observatoire royal de Bruxelles, déclare qu'il serait de la plus haute utilité de créer un réseau télégraphique international spécialement affecté au service de la météorologie. »

M. MASCART (France), comme directeur du Bureau central météorologique, croit devoir faire quelques observations. Il pense que les chiffres présentés par M. van Rysselberghe au sujet du prix de revient des dépêches sont un peu trop élevés.

Il fait remarquer que le système de dépêches actuellement en usage permet de se faire une idée très nette de l'état de l'atmosphère sur l'Europe vers sept heures du matin, et qu'il permet, sinon de prédire à coup sûr la probabilité de beau ou de mauvais temps dans le sens entendu par le public, du moins d'annoncer l'arrivée des tempêtes si dangereuses pour la navigation et de donner des avis utiles à l'agriculture.

Il apprécie, du reste, toute l'importance de la proposition de M. van Rysselberghe, mais il croit qu'on devrait étendre davantage le réseau télémétéorographique proposé et les conditions d'établissement et d'entretien d'un pareil réseau demandent une étude approfondie.

M. VAN RYSSELBERGHE fait remarquer en premier lieu que les prévisions que l'on peut déduire de la situation absolue de l'atmosphère telle qu'elle se dessine à un moment donné, sont purement *empiriques*, puisqu'on ne connaît pas la loi qui lie l'état actuel d'un météore à la direction et à la vitesse de sa translation; tandis que des observations successives suffisamment rapprochées peuvent fournir à cet égard des données *certaines*.

Il fait observer en second lieu que l'évaluation approximative qu'il a faite de la dépense occasionnée par les télégrammes actuels ne comprend que les télégrammes adressés aux instituts de la moitié nord-ouest de l'Europe, de même que le projet de télémétéorographie proposé ne s'étend qu'à cette région.

La comparaison établie entre le service actuel et celui qu'on propose d'y substituer est donc parfaitement valable.

M. Everett (Grande-Bretagne), après avoir reconnu toute l'importance du projet présenté au nom de l'Observatoire royal de Bruxelles, propose un amendement à la proposition de M. Van Rysselberghe, c'est que « la Commission internationale chargée de l'étude des courants terrestres et de l'électricité atmosphérique soit aussi chargée de faire un rapport sur la valeur pratique du système qui consiste à envoyer automatiquement les observations météorologiques à des stations éloignées ».

M. van Rysselberghe s'étant rallié à cet amendement, celui-ci est mis aux voix et adopté à l'unanimité.

L'ordre du jour appelle la discussion des questions relatives aux câbles sous-marins.

M. Raynaud (France) et M. William Siemens (Grande-Bretagne) prennent successivement la parole sur l'utilité de fixer la propriété des câbles sous-marins. M. Siemens propose, en outre, que l'on s'occupe de la manière dont on doit réparer un câble qui est recouvert par un autre.

M. le Président fait remarquer que la question de propriété des câbles sous-marins n'est pas de la compétence du Congrès; elle est du domaine du droit international ou même du droit privé. Il croit donc que le Congrès devrait se borner à émettre le vœu que « les Gouvernements des différents pays s'occupent de la nécessité d'établir des rapports internationaux concernant la propriété des câbles sous-marins. »

Ce vœu est adopté par le Congrès à l'unanimité.

M. Raynaud propose que le système des signaux actuellement en usage en Angleterre pour les navires télégraphiques, qui ne peuvent se déranger à l'approche d'un autre navire, soit adopté pour tous les pays.

Ce vœu est adopté à l'unanimité.

La discussion sur la distribution et la division des courants électriques est, avec l'assentiment de M. Marcel Deprez, renvoyée à la prochaine séance plénière du Congrès, fixée au samedi 1er octobre, à deux heures.

M. le Président demande si personne n'a de rectification à faire au procès-verbal de la dernière séance.

M. le capitaine Botto (Italie) dit que, d'après le procès-verbal, il aurait cité le cas d'un magasin à poudre placé sur un rocher et parfaitement isolé par un paratonnerre ordinaire simplement planté dans le roc. Au contraire, il a voulu dire que les paratonnerres établis, depuis 1828, sur l'abbaye de Monte-Cassino ont toujours garanti complètement le couvent, tout en ayant un conducteur mis simplement en communication avec les

détritus et le peu de terre végétale que l'on rencontre au sommet de la montagne; tandis qu'avant l'établissement de ce système de paratonnerres il y avait toujours un ou deux coups de foudre par an, coups qui bien souvent ont causé des dégâts considérables.

Sous la réserve de ces observations, le procès-verbal est adopté.

La séance est levée à trois heures et demie.

SIXIÈME SÉANCE

1er octobre 1881

PRÉSIDENCE DE M. AD. COCHERY
Ministre des Postes et des Télégraphes.

M. le Président déclare la séance ouverte à deux heures quinze minutes.

M. le Président rappelle aux membres du Congrès que le procès-verbal de la dernière séance vient de leur être distribué et qu'ils sont priés d'en prendre connaissance et de présenter, s'il y a lieu, leurs observations, lorsque l'adoption du procès-verbal sera mise aux voix à la fin de la séance.

La parole est donnée à M. Marcel Deprez pour présenter le résumé de ses études sur la question de la distribution du courant électrique.

M. Marcel Deprez (France) expose les recherches qu'il a faites pour résoudre industriellement le problème de la distribution et de la division du courant électrique. (Voir Annexe I, page 83).

Il fait ressortir l'importance de cette question par une comparaison entre l'industrie du gaz et celle de l'électricité. Cette dernière est exactement dans la situation où serait l'industrie gazière si chaque consommateur de gaz était obligé de produire lui-même le gaz dont il a besoin. Cette comparaison suffit pour faire comprendre que les applications de l'électricité seront pour ainsi dire frappées de stérilité, tant que le problème de la canalisation n'aura pas été résolu.

Le problème de la division du courant est tout entier contenu dans l'énoncé de cette condition : rendre le fonctionnement de chaque appareil utilisateur du courant (lampe, moteur, etc.,) absolument indépendant de l'arrêt ou de la mise en marche des autres appareils.

Il n'y a que deux manières de grouper les appareils qui utilisent le

courant emprunté à une source unique : en dérivation ou en série. Dans le premier cas, la condition de l'indépendance de chaque récepteur a pour conséquence l'invariabilité de la différence de potentiel qui existe entre les deux artères sur lesquelles sont greffées toutes les dérivations. Dans le second cas, au contraire, c'est le courant qui traverse tous ces appareils qui doit être rendu invariable.

Ces préliminaires posés, M. Deprez démontre une série de théorèmes très simples, desquels il résulte que les machines dynamo-électriques peuvent satisfaire soit à l'une, soit à l'autre des conditions qui viennent d'être énoncées (invariabilité de la différence de potentiel ou du courant), moyennant une modification, légère en apparence, mais capitale par ses conséquences, et qui consiste à enrouler sur les électro-aimants inducteurs deux hélices complètement distinctes et parcourues, l'une par un courant d'intensité constante emprunté à une source étrangère, l'autre, par le courant utilisé. Toutefois, la seconde hélice ne doit être parcourue par la totalité du courant utile que dans le cas où les appareils récepteurs sont tous montés en dérivation; s'ils étaient, au contraire, placés en série, le courant qui traverse la seconde hélice devrait être emprunté à une dérivation prise sur le circuit principal.

M. Deprez montre que les théorèmes exposés permettent de déterminer très facilement les conditions d'établissement de ces deux hélices, l'intensité du courant auxiliaire constant et la vitesse de rotation de l'induit, en fonction des données du problème, qui sont : la différence de potentiel des deux artères dans le groupement en dérivation, ou l'intensité du courant dans le groupement en série. Il montre que l'élément qui joue le rôle le plus considérable dans ces deux cas est la vitesse de rotation de l'anneau induit, et qu'on peut toujours, en la faisant varier, obtenir d'une machine dynamo-électrique, modifiée suivant son système, un courant constant ou une différence de potentiel invariable et que, ce résultat une fois atteint, il n'est plus nécessaire de changer la vitesse, quel que soit le nombre d'appareils récepteurs utilisés.

La supériorité de cette solution générale sur toutes celles qui ont été imaginées jusqu'à présent résulte de ce fait qu'elle ne comporte aucun mécanisme et qu'elle est basée sur des propriétés inhérentes aux machines dynamo-électriques, qui étaient restées inaperçues jusqu'à présent.

En terminant sa communication, M. Deprez décrit rapidement l'installation qui a été faite à l'Exposition d'un spécimen de son système de distribution, et invite les membres du Congrès à venir le constater par eux-mêmes.

M. Siemens (Allemagne) déclare qu'il ne lui a pas été toujours possible de suivre l'exposé rapide de M. Deprez; il lui semble toutefois que la question a été étudiée dans le même esprit en Allemagne par M. le Dr Frölich, et il dépose sur le bureau deux exemplaires de la *Elektrotechnische Zeitschrift* (livraisons d'avril et mai 1881), où se trouve le travail auquel il fait allusion. Il demande, si la communication de M. Deprez est insérée *in extenso*, que les articles de M. le Dr Frölich soient traduits et joints au compte rendu de la séance. (Voir Annexe II, page 104.)

La parole est donnée à M. G. Cabanellas (France) pour présenter le résumé de ses travaux sur *la Question du transport et de la distribution de l'énergie par voie électrique*. (Voir Annexe III, page 123.)

Avant l'exposé de la méthode analytique, puis synthétique, qui a permis à l'orateur d'établir les principes qui dominent la question, nécessité de prouver, sans contestation possible, qu'au moment où il parle l'insuffisante cohérence des doctrines rend d'abord indispensable l'établissement d'une plate-forme solide servant de base aux opérations ultérieures.

Preuve par deux exemples d'actualité, choisis à un degré très élevé de notoriété technique :

1° Dans les transports d'énergie, les rendements des machines occupent certainement la première place. Plusieurs électriciens pensent que tout ce qui touche au rendement des machines est parfaitement élucidé, et qu'il est inutile d'aborder de nouveau le sujet. Dans une récente note à l'Institut de France, sir William Thomson, l'illustre vice-président du Congrès, a voulu établir que l'excitation, non pas en circuit direct, mais en circuit dérivé, des électros d'une machine employée comme source, permet d'améliorer considérablement le rendement de la machine. Preuve théorique et numérique que, toutes choses égales d'ailleurs et contrairement à cette opinion, le rendement d'une machine électrique est identiquement le même, soit que l'excitation des électros ait lieu en circuit dérivé, soit que cette excitation ait lieu en circuit direct.

2° M. Marcel Deprez, électricien des plus distingués, vient, dans une récente séance, d'exposer avec insistance et talent un prétendu principe nouveau (indépendance du rendement des machines et de la distance et de la résistance à travers lesquelles le transport d'énergie est effectué). Preuve théorique et appliquée que le rendement des machines est absolument dépendant de la distance, de la résistance de liaison de la source génératrice au moteur récepteur, à tel point que si, dans l'exemple donné par M. Deprez, il a été possible, par l'emploi d'une force électromotrice de 6,900 volts à l'origine, de transporter moins de 10 chevaux à travers

50 kilomètres de fil de fer de $0^m,4$ de diamètre, avec un rendement de 65 pour 100, il est également possible, à travers un seul kilomètre de ce fil, de transporter plus de 11 chevaux avec un rendement de 76 pour 100.

Transport et distribution par dérivations successives.

Fixation des formules des rendements ou puissances absolues et des rendements ou puissances relatives, au point de vue d'abord de la distribution sans transport, les exploitations dérivées étant supposées aboutir toutes à deux mêmes points reliés à la source électrique. Application numérique à une distribution par lampes incandescentes Werdermann.

Distribution, avec transport, par dérivations successives : la différence de potentiel à l'origine, à la première dérivation, subit nécessairement des affaiblissements successifs qui croissent rapidement avec le nombre des dérivations. Moyens de calculer de suite, exactement, la différence de potentiel effective d'une dérivation quelconque de rang n en fonction de la valeur x (donnée par le projet d'exploitation), du quotient de la résistance du canal séparant deux exploitations consécutives, par la résistance du type exploité. Équation du degré $n - 1$ avec la loi de formation des coefficients. Calcul des sections de canal pour des portées et des chutes données et réciproquement. Cas d'un nombre quelconque de canalisations d'ordres successifs. Application numérique au système Edison, de laquelle il résulte qu'il n'est pas possible, comme le supposent les intéressés, d'alimenter avec les sections de canal qu'ils indiquent, par une seule prise de courant venant de la source, à la portée indiquée de 1,333 mètres, 1,000 lampes-Edison d'une résistance de 120 ohms. Perte des deux tiers de la différence de potentiel de la première à la millième lampe. Moyen d'économiser les 5/8 du cuivre de la canalisation, à chute égale de différence de potentiel, en alimentant par opposition (équation du degré $\frac{n}{2} - 1$). Vice inhérent aux distributions par dérivations successives, qui exigent une dépense minimum considérable de métal conducteur pour la canalisation, ce minimum étant malheureusement le même pour de puissantes ou de très faibles distributions d'énergie. Exemple numérique. Proposition motivée.

Transport et distribution en tension.

Analyse des rendements des machines; preuves théoriques et numériques de l'utilité technique du point de vue nouveau consistant à dissocier

complètement les conditions de fonctionnement des moteurs récepteurs des conditions de fonctionnement de la source génératrice. Pour tout *régime* d'allure et d'intensité de circulation, le *rendement individuel* est *essentiellement* fonction de sa *déterminante* $m = \frac{E}{\rho i}$.

Formules des rendements individuels des sources et des moteurs en fonction de m; applications numériques.

Moyens d'améliorer les rendements usuels des transports d'énergie sans dépasser ni l'allure du type de machine ni son intensité de régime; applications numériques.

Conditions générales dans lesquelles doivent être organisés, en tension, le transport, la distribution et la consommation de l'énergie. Application numérique à une ville comme Paris de 8 kilomètres de diamètre, desservie par une seule usine à laquelle aboutissent des boucles de 8 kilomètres, en nombre illimité, toutes en tension, formant un unique canal d'un fil de $4^{mm},8$ de diamètre, de façon que l'unique réglage, automatique, fait à l'usine, de la constance de l'intensité du canal, n'ait à se faire que sur l'appoint différentiel général de tous les accroissements et toutes les diminutions des énergies locales consommées. Chaque boucle de 8 kilomètres desservant 800 maisons de 18 mètres de façade taxées, par exemple, à la consommation moyenne de 3 chevaux, sous toutes formes d'énergie, soit 2,400 chevaux distribués par boucle.

Importance extrême de la réduction de la résistance intérieure des machines pour les rendements des transports d'énergie.

Synthèse de ces rendements en tenant compte des résistances de liaison. Moyen d'accroître ces rendements en agissant sur la déterminante; évaluations et exemples numériques. Proposition motivée.

Dans une grande exploitation en tension, moyens propres à régler automatiquement, à l'usine, la constance de l'intensité du canal, malgré toutes variations facultatives dans le nombre et la grandeur des consommations des diverses exploitations extérieures locales d'énergie.

Conditions de fonctionnement indépendant et automatique des diverses sortes de récepteurs locaux d'énergie sur une unique canalisation.

Récepteurs d'énergie consommant la chaleur sous forme directe. Récepteurs consommant sous forme de puissance mécanique.

Catégories d'exploitations locales. Récepteurs *robinets* à débit constant, consommant sous forme de débit électrique constant quelconque, de même sens, à intensité prévue quelconque, ou de sens alternatif, de forces et de phases quelconques. Les récepteurs réglant eux-mêmes leur débit, malgré

toutes variations facultatives de la grandeur ou du nombre des applications exploitées en catégorie, sur circuit individuel d'exploitation locale de chacun de ces robinets. Proposition motivée.

M. LE PRÉSIDENT met aux voix le procès-verbal de la dernière séance.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté à l'unanimité.

M. LE PRÉSIDENT fixe, avec l'assentiment du Congrès, la prochaine séance plénière au mercredi 5 octobre à deux heures, et la séance est levée à 4 heures 10 minutes.

ANNEXE I

COMMUNICATION DE M. MARCEL DEPREZ

Transport de l'énergie.

Lorsqu'on évalue le travail engendré par un courant, qu'il s'agisse d'énergie chimique ou d'énergie calorique, on trouve la même expression $Q = EI$. Nous allons faire voir que cette formule est absolument générale.

Considérons (fig. 1) un circuit dans lequel se trouvent une pile P d'un certain nombre n d'éléments, un appareil galvano-métrique G mesurant l'intensité du courant, et de plus, entre les points H et B, une série d'appareils quelconques

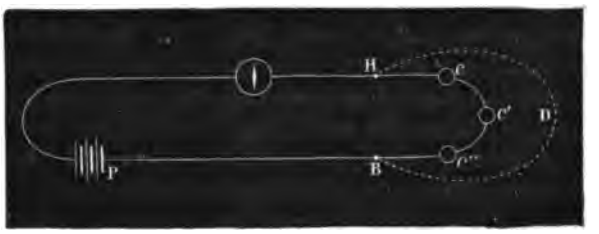

Fig. 1.

c, c', c'', propres à dépenser le courant, soit en chaleur, soit en actions chimiques, soit en travail mécanique. Dans ces conditions, le courant prend une intensité I que le galvanomètre indique; il se consomme dans chaque élément de la pile une quantité Z de zinc, et, par conséquent, une quantité nZ dans l'ensemble de la pile.

Supprimons maintenant les appareils c, c', c'', et remplaçons-les par un fil simple H D B dont nous ferons varier la longueur, jusqu'à ce que le courant soit ramené à la même intensité I. La force électromotrice est restée E; dans

ces conditions, la quantité de zinc dissoute par élément est toujours Z, d'après la loi de Faraday, et la quantité totale nZ; la quantité totale d'énergie engendrée, qui est mesurée par la quantité de zinc consommée, n'a donc pas varié; or dans le circuit P H D B nous savons qu'elle est représentée par E I; cette expression donne donc aussi sa valeur avec le circuit P A $cc'c''B$.

De plus, dans le circuit P H D B nous savons calculer par les lois de Ohm les potentiels en H et en B, ainsi que leur différence e, et nous savons que la quantité d'énergie que l'on peut récupérer sur le circuit H D B est représentée par eI; si nous rétablissons le circuit P H$cc'c''$B, rien n'est changé dans la portion H P B, les potentiels en H et en B ainsi que leur différence e restent les mêmes, la portion du travail total engendré sur H P B n'a pas non plus varié; donc l'énergie disponible sur le circuit H $cc'c''$B est encore exprimée par eI.

Il résulte de cette démonstration qu'on peut dans tous les cas remplacer une résistance active par une résistance inerte; la valeur de cette résistance est facile à déterminer; si E est la force électromotrice positive, e la force électromotrice négative et R la résistance, on posera :

$$\frac{E - e}{R} = \frac{E}{R + x},$$

d'où l'on tire

$$x = \frac{eR}{E - e};$$

en supprimant e et introduisant x, l'état du circuit ne sera pas changé.

Transport du travail mécanique.

Appliquons ces considérations au cas où, sur un circuit électrique, il ne se développe que deux sortes d'énergie : l'énergie calorique et l'énergie mécanique.

Appelons E la force électromotrice du générateur; on remarquera que cette force électromotrice est constante, ainsi que toutes celles qui pourront avoir à intervenir dans un sens ou dans l'autre. Si les courants n'étaient pas constants, ou au moins assimilables à des courants constants comme ceux des machines Gramme, Siemens, ou analogues, les raisonnements suivants ne pourraient être appliqués qu'à des intervalles de temps infiniment petits, et la solution du problème exigerait l'emploi du calcul intégral.

S'il ne se produit sur le circuit que les deux énergies désignées, nous pouvons, d'après le principe de la conservation de l'énergie, écrire l'équation suivante :

$$EI = RI^2 + T.$$

dans laquelle E I représente, ainsi que nous venons de le dire, le travail total engendré. R I^2, d'après la loi de Joule, exprime la quantité de chaleur produite, et T, le travail moteur que l'on veut utiliser. L'intensité I est une variable qui dépend de la valeur de T; on peut voir immédiatement que si T = o, c'est-à-dire, si le courant produit seulement de la chaleur, on retrouve E I = R I^2 ou en simplifiant E = R I, expression connue de la loi d'Ohm.

L'intensité I peut être déterminée en fonction des autres quantités : il suffit

de résoudre l'équation du second degré suivante qui résulte de la précédente expression :

$$RI^2 - EI + T = 0,$$

d'où :

$$I = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4RT}}{2R}.$$

Examinons les diverses valeurs de I pour diverses valeurs de T; l'expression a le double signe $\pm$; nous prendrons d'abord le signe $+$.

Si l'on fait $T = 0$, on trouvera $I_0 = \frac{2E}{2R} = \frac{E}{R}$ c'est l'intensité qui se développerait dans un circuit ordinaire, sans appareil producteur de travail mécanique, suivant la loi de Ohm; et c'est l'intensité maximum que l'on puisse obtenir dans le circuit donné.

Si nous faisons croître successivement T, la valeur de I ira en diminuant; mais on voit que T ne peut dépasser une certaine limite, la quantité sous radical ne pouvant devenir négative. Le maximum de T sera donc obtenu pour $E^2 - 4RT = 0$, d'où l'on tire $T = \frac{E^2}{4R}$. Pour cette valeur maximum, la valeur de I sera $I_1 = \frac{E}{2R} = \frac{I_0}{2}$. L'intensité qui correspondait au travail nul est donc réduite à moitié, quand ce travail devient maximum.

Entre ces deux valeurs, l'intensité I peut être considérée comme l'intensité maximum I_0 diminuée d'une certaine quantité; on écrirait alors :

$$I = I_0 - i.$$

I_0 est, nous le savons, égal à $\frac{E}{R}$; nous pouvons présenter la quantité variable i, sous la forme $\frac{x}{R}$, on aura alors :

$$I = \frac{E}{R} - \frac{x}{R} = \frac{E - x}{R}.$$

On voit que la quantité x se présente comme une diminution de la force électromotrice de la pile, et se comporte comme une force électromotrice négative. En acceptant cette interprétation et la désignant par e, comme on a coutume de le faire, on trouve :

$$I = \frac{E - e}{R},$$

La valeur de e est d'ailleurs facile à trouver, on posera :

$$\frac{E - e}{R} = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4RT}}{2R},$$

d'où l'on tirera :

$$e = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4RT}}{2}.$$

Cette valeur se discuterait comme celle de I, et conduirait aux mêmes résultats.

On voit que les principes connus nous amènent par eux-mêmes, et sans étude expérimentale, à conclure que la présence d'un moteur électrique, dans un circuit, équivaut à la présence d'une force électromotrice négative. L'expérience avait, depuis longtemps, conduit à reconnaître ce fait.

Nous aurions pu partir de ce point connu, et admettre, comme acquise, la présence d'une force électromotrice négative, produite par les machines employées comme moteurs; il nous a paru plus facile de faire voir que ce fait n'est point particulier aux organes employés, qu'il est lié à la nature même des choses, que le transport de l'énergie mécanique n'est qu'un cas particulier du transport de l'énergie en général, et obéit aux mêmes lois.

Reprenons la formule générale : $EI = RI^2 + T$; on en tire : $T = EI - RI^2$. EI étant, comme on sait, le travail total engendré, le rapport $\frac{T}{EI}$ sera le rendement économique K.

La formule nous donne donc :

$$K = \frac{T}{EI} = \frac{EI - RI^2}{EI} = 1 - \frac{RI}{E},$$

ce qu'on peut écrire :

$$K = \left(1 - \frac{I}{\frac{E}{R}};\right)$$

or, $\frac{E}{R}$ n'est autre que I_0, donc $K = 1 - \frac{I}{I_0}$.

D'autre part, nous savons que $I = \frac{E - e}{R}$, nous avons donc aussi

$$K = 1 - \frac{\frac{E - e}{R}}{\frac{E}{R}} = \frac{e}{E}.$$

Le rendement économique a donc pour expression $\frac{e}{E}$, rapport de la force électromotrice négative e développée dans l'accomplissement du travail utile, à la force électromotrice E nécessaire pour produire le travail total dépensé.

Nous pouvons, dès à présent, calculer non seulement le rendement économique, c'est-à-dire le rapport des travaux produits, mais encore leur valeur absolue.

On a, en effet :

$$\text{Travail total } T = EI = \frac{E(E - e)}{R}.$$

$$\text{Travail moteur } T_m = KEI = eI = \frac{e(E - e)}{R}.$$

$$\text{Quantité de chaleur sensible, travail calorique } C = RI^2 = \frac{(E - e)^2}{R}.$$

N'oublions pas de rappeler que ces divers travaux sont ceux qui se développent dans l'unité de temps et que leur expression doit être divisée par le nombre $g = 9,81$ pour qu'ils soient évalués en kilogrammètres.

Ces diverses valeurs peuvent d'ailleurs être exprimées en fonction du rendement économique $K = \frac{e}{E}$, on trouve alors :

$$T = (1 - K)\frac{E^2}{R}$$

$$T_m = K(1 - K)\frac{E^2}{R}$$

$$C = (1 - K)\frac{E^2}{R}.$$

Si l'on veut que le rendement K reste constant, et qu'en même temps le travail récupéré, ainsi que le travail dépensé, restent constants quelle que soit la résistance R et, par suite, la distance sur laquelle s'opère le transport, il suffira que la quantité $\frac{E^2}{R}$ reste constante, c'est-à-dire que E varie comme la racine carrée de R; il est à peine nécessaire de faire remarquer que $\frac{e}{E} = K$ étant constant, e devra varier de la même façon.

Quelques personnes ne peuvent s'empêcher, au premier abord, de considérer comme singulier le fait du rendement indépendant de la distance; il leur semble que la production de chaleur sur le trajet doit augmenter avec la distance, et, par conséquent, former une cause de perte croissante avec elle. Cette illusion tient à ce que l'on considère la perte par mètre comme constante, ne s'apercevant pas qu'elle dépend de l'intensité du courant, qui est elle-même fonction de la distance. Les formules précédentes font voir clairement comment les choses se passent et montrent que les travaux restant constants, la perte totale en chaleur reste également constante, la perte par unité de longueur diminuant avec l'intensité.

Conclusion.

Il n'est donc pas nécessaire d'aller plus loin et d'attendre l'étude d'organes spéciaux, pour connaître les lois du transport de l'énergie mécanique; elles se démontrent *a priori* et se formulent ainsi :

1° *Le travail mécanique positif, représentant le travail total dépensé, est exprimé par EI; pour une intensité donnée, il est donc proportionnel à E;*

2° *Le travail mécanique négatif représentant le travail récupéré est exprimé par eI; pour une intensité donnée, il est donc proportionnel à e.*

3° *Le rendement économique est représenté par le rapport de la force électromotrice négative à la force électromotrice positive.*

4° *Le travail mécanique utile et le rendement économique restent constants, quelle que soit la distance du transport, pourvu que les forces électromotrices positive et négative varient proportionnellement à la racine carrée de la résistance du circuit.*

Pour ne négliger aucun point, il sera utile de remarquer que, dans la dis-

cussion des valeurs de I, tirées de la formule $I = \frac{E \pm \sqrt{E^2 - 4RT}}{2R}$ nous n'avons considéré que les valeurs affectées du signe +; bien que ce mode d'examen, comme il est aisé de le voir, n'altère en rien la généralité des conclusions, il est intéressant d'étudier les valeurs fournies par le signe —.

Si nous faisons $T = 0$, on trouve alors $I = 0$. Si l'on examine la valeur de e, on trouve $e = E$. Le rendement est égal à l'unité; les deux forces électromotrices positive et négative sont égales; comme elles sont contraires, elles s'annulent, et il ne se produit plus rien dans le circuit, ni travail, ni courant électrique.

Si l'on fait croître T jusqu'à la valeur $\frac{E^2}{4R}$ qui, comme nous le savons, donne le maximum, on trouve une série de valeurs de I, croissante jusqu'à

$$I = \frac{2R}{E} = \frac{I_0}{2}.$$

Nous voyons donc que pour chaque valeur de T il y a deux valeurs; l'une fournie par le signe +, l'autre par le signe —; c'est-à-dire qu'un travail utile donné peut toujours être obtenu avec deux intensités différentes, correspondant à des forces électromotrices différentes.

Transport des énergies chimique et calorique.

Le travail T, que nous avons considéré comme du travail mécanique, n'est pas limité à cette nature; il peut représenter du travail chimique ou du travail calorique; la formule qui n'est que l'expression de la loi de la conservation de l'énergie est absolument générale; on reconnaît donc que les lois qui viennent d'être formulées sont absolument générales et s'appliquent au transport de l'énergie sous quelque forme qu'elle se présente. On peut du reste le démontrer par l'étude directe de ces énergies.

Machines magnéto et dynamo-électriques.

Dans l'usage des machines comme transmetteurs du travail une remarque importante doit être faite d'abord.

L'action mécanique, la grandeur du couple (produit de l'effort tangentiel par sa distance au centre) pour une machine donnée est proportionnelle au champ magnétique et à l'intensité du courant; elle est indépendante de la vitesse imprimée à l'anneau.

Une expérience fondamentale démontre cette loi. Supposons qu'on fasse usage d'une machine à aimant permanent. Nous plaçons successivement dans le circuit des éléments de pile jusqu'au nombre n_0; à ce moment la machine se met en mouvement, mais très lentement, pour ainsi dire sans vitesse; on peut considérer ce point comme le point précis où la résistance du frein est équilibrée; nous introduisons un élément de plus, la vitesse s'accroît, le courant restant constant; mesurons la vitesse ainsi atteinte, désignons-la par v; au lieu de 1 élément, mettons alors en circuit 1, 2, 3, 4..., n éléments ajoutés au n_0

premiers, nous verrons la vitesse devenir $2v$, $3v$, $4v$..., nv, et varier ainsi proportionnellement à l'accroissement du nombre des éléments. D'après les lois connues des machines, celle qui est en expérience ne peut se mettre ainsi en mouvement sans engendrer une force électromotrice inverse de celle de la pile. Cette force électromotrice sera proportionnelle à la vitesse de rotation puisque le champ magnétique, produit par des aimants permanents, est constant; or nous voyons, d'une part, que les vitesses successives $2v$, $3v$..., nv sont proportionnelles à n, tandis que de l'autre côté les éléments de pile ajoutés depuis le démarrage sont en nombre 1, 2, 3..., n; il est aisé de comprendre alors ce qui se passe : à mesure que nous ajoutons une nouvelle force électromotrice dans la pile, le courant augmente momentanément, la vitesse de la machine s'accroît alors proportionnellement, puisqu'il n'y a plus équilibre entre l'effort moteur et l'effort résistant, et cet accroissement continue jusqu'à ce qu'elle ait créé une force contre-électromotrice compensant la première et maintenant le courant constant; l'effort mécanique et le travail par tour restent donc les mêmes, mais le nombre de tours par unité de temps augmentant, le travail absolu augmente.

Si l'on prenait une machine dynamo-électrique, les choses se passeraient un peu autrement, mais le résultat serait le même. Si l'on suppose en effet que, le régime étant établi, le courant moteur augmente, la force contre-électromotrice de la machine travaillante augmente pour deux raisons : l'une est que sa vitesse s'accélère, l'autre que son champ magnétique tend à s'accroître; cette force contre-électromotrice augmentera ainsi, comme dans le cas précédent, jusqu'à ce qu'elle ait annulé l'effet produit par l'augmentation de la première; mais alors le courant étant réduit à l'intensité de régime, le champ magnétique de la machine récepteur est revenu à sa première valeur, l'augmentation de sa force électromotrice négative ne peut donc être due qu'à l'augmentation de sa vitesse qui aura dû varier, comme dans le cas précédent, proportionnellement à l'augmentation de la force électromotrice positive.

Le point très important à signaler dans ces faits d'expériences, c'est qu'à une certaine intensité de courant correspond toujours, dans une machine employée comme moteur, un effort mécanique déterminé et un seul. Ce résultat pouvait être prévu. Supposons, en effet, que l'on empêche une machine de Gramme de tourner, et qu'on y lance un courant d'intensité I; pour cette intensité, elle exerce un effort bien déterminé T sur l'obstacle qui l'arrête. Si l'on suppose maintenant qu'on la fasse travailler en lui demandant le même effort, elle ne pourra le faire que si elle reçoit cette même intensité; en effet, supposons qu'elle en reçoive une plus grande, elle développera un effort plus grand que T; il y aura donc un travail moteur supérieur au travail résistant et la machine ira en s'accélérant indéfiniment; en se comportant ainsi elle développera une force contre-électromotrice indéfiniment croissante, et cet état de choses ne pourra cesser que lorsque cette force contre-électromotrice aura détruit l'excès d'intensité et ramené le courant à sa première valeur I, ce qu'il fallait démontrer.

Réalisons maintenant l'expérience en constituant un transport réel de force mécanique, c'est-à-dire en mettant sur un circuit deux machines, l'une fonctionnant comme générateur, la seconde comme récepteur. Pour simplifier, nous supposerons que ces deux machines sont identiques. La première est reliée à un générateur de force quelconque qui la mettra en mouvement; la seconde est en relation avec une machine-outil ou avec un frein qui lui impose

un effort mécanique déterminé et un travail constant par tour. La première machine commence son mouvement, s'accélère peu à peu, en produisant une force électromotrice et une intensité graduellement croissantes jusqu'au moment où la deuxième machine recevant une intensité suffisante se met en mouvement à son tour et commence à produire du travail. A partir de cet instant l'intensité est constante, comme cela a été démontré dans le paragraphe précédent, et si l'on continue à faire croître la vitesse de la première machine, celle de la seconde la suivra et croîtra en même temps. Les deux machines étant identiques et traversées par le même courant, qui est d'ailleurs constant, les efforts mécaniques qu'elles exercent et le travail par tour sont égaux, en vertu du principe précédent ; les vitesses seules sont différentes. Le travail engendré par la première machine est mesuré par le produit de sa vitesse et du travail par tour; le travail produit par la seconde est également le produit de sa vitesse et de ce même travail; le rendement économique est donc mesuré par le rapport de ces vitesses.

Mais, quelles que soient ces vitesses, le courant est constant; la résistance étant invariable, la différence des forces électromotrices qui l'engendrent doit être également invariable ; or le champ magnétique étant le même dans les deux machines, les forces électromotrices respectives sont mesurées par les vitesses de rotation; la différence de ces vitesses sera donc constante. On voit que le rendement est mesuré par le rapport de deux vitesses dont la différence est constante; il y aura donc intérêt à prendre les vitesses aussi grandes que possible, afin d'améliorer ce rendement.

On peut donc se représenter le transport de la force mécanique par l'électricité comme une véritable transmission par le moyen d'un organe matériel, tel qu'une courroie reliant les deux machines supposées munies de poulies égales; *l'effort mécanique est effectivement et intégralement transmis, comme s'il y avait une liaison réelle entre les deux appareils;* seulement la courroie ainsi supposée glisse et permet à une différence de vitesse de se manifester entre le générateur et le récepteur ; la vitesse de ce glissement est constante, et la différence de vitesse entre les deux appareils garde sa valeur tout le temps du travail; elle dépend de la charge de la seconde machine.

Distribution de l'énergie.

La distribution de l'énergie suppose qu'un certain nombre d'appareils propres à utiliser l'électricité, qui peuvent être d'ailleurs de nature diverse et de différente puissance, étant mis en relation avec un même générateur, celui-ci est disposé de façon à produire l'énergie nécessaire pour leur marche et à l'envoyer constamment à chacun d'eux; chacun des appareils peut d'ailleurs être arrêté ou mis en action à un instant quelconque, la production électrique devant se conformer constamment à ces divers états.

On voit que dans ces conditions nouvelles la quantité totale d'énergie à produire est constamment variable. Nous savons que cette quantité est représentée par l'expression EI, E étant la force électromotrice du générateur, I l'intensité du courant. C'est donc ce produit qu'il faudra faire varier suivant la demande des appareils récepteurs. On pourrait agir sur les deux facteurs à la fois, mais il est clair que les procédés simples consisteront à agir séparément sur chacun d'eux.

On pourra donc :

1° Laisser I constant en faisant varier E.

2° Laisser E constant en faisant varier I.

Le premier procédé conduira à placer tous les récepteurs sur un même circuit parcouru par un courant dont l'intensité sera I ; les appareils seront alors en tension ou autrement dit en série.

Le second conduira à placer les appareils sur des circuits distincts aboutissant aux deux pôles du générateur dont la différence de potentiel e sera constante ; les appareils seront alors en dérivation.

Une comparaison fera comprendre d'une façon sensible ces deux modes de distribution.

Supposons qu'il s'agisse d'utiliser une chute d'eau en la divisant entre plusieurs roues hydrauliques, ou mieux des appareils à piston ; on pourra, si la hauteur est suffisante, les placer l'un au-dessus de l'autre, chacun d'eux recevant la totalité de l'eau, mais n'utilisant qu'une partie de sa hauteur ; dans ce cas, si on voulait introduire un appareil de plus, on ne devrait pas changer le débit du cours d'eau, mais il serait nécessaire d'accroître la hauteur de chute : les appareils seraient alors en série ou en tension. On pourrait, au contraire, placer les appareils récepteurs l'un à côté de l'autre, chacun d'eux utilisant toute la hauteur de la chute, mais ne recevant qu'une partie de l'eau ; en cas d'adjonction, il faudrait alors, sans changer la hauteur de chute, augmenter le débit de la rivière pour faire le service du nouvel appareil ; ils sont alors en dérivation.

Revenons à la distribution d'électricité.

Dans le premier système, si le nombre des appareils récepteurs en service vient à varier, l'intensité devant rester constante, malgré des résistances ou des forces électromotrices introduites dans le circuit, l'intervention d'un régulateur faisant varier le potentiel apparaît d'elle-même comme nécessaire.

Dans le second système, sa nécessité est un peu moins immédiatement visible. Il pourrait sembler en effet qu'en prenant un appareil générateur à force électromotrice constante E, en vertu de la loi de Ohm, un circuit quelconque de résistance R recevra un courant d'intensité $I = \frac{E}{R}$, si l'on en ajoute un second pareil, la résistance composée de deux conducteurs égaux serait alors réduite à moitié, l'intensité devenant $I' = \frac{E}{\frac{R}{2}}$ serait doublée et le service du second circuit assuré. Ces déductions sont fausses, parce qu'il n'y est pas tenu compte d'un élément qui est la résistance intérieure du générateur. Il est nécessaire de la mettre en ligne ; si on la représente par r, la résistance extérieure étant R, l'expression vraie de l'intensité sera $i = \frac{E}{r+R}$, l'adjonction d'un circuit extérieur semblable au premier donnera $I' = \frac{E}{r+\frac{R}{2}}$. On voit immédiatement que cette expression n'est pas double de la première ; le service des deux appareils ne pourra donc être assuré qu'en introduisant, comme dans le premier cas, une régulation faisant varier la force électromotrice E de façon que la différence du potentiel e aux bornes du générateur soit toujours ramenée à la

valeur qu'elle avait précédemment et dont la variation de la résistance extérieure tend à l'écarter.

La formule $I = \frac{E}{r+R}$ montre que si r est très petit relativement à R, on se rapproche d'un appareil dont la résistance serait nulle; la régulation devient alors moins nécessaire ; pour certains cas restreints, dans des conditions spéciales, on peut arriver pratiquement à des installations fonctionnant d'une façon suffisante; cela ne constitue pas une solution, et serait absolument inapplicable sur un circuit étendu avec des appareils très différents, d'autant plus que dans une distribution de quelque importance, le transport à distance devient un élément dont il faut tenir compte; on est alors conduit, comme nous le savons, à employer l'électricité à des tensions assez élevées et, par suite, à grossir la résistance des appareils générateurs, ces deux conditions étant difficilement séparables.

Il faut donc reconnaître que pour faire la distribution de l'énergie, on doit prévoir un système de régulation qui maintiendra constante l'intensité si les appareils sont placés en série, la différence de potentiel aux points de départ s'ils sont placés en dérivation.

Dans tous les cas, une solution complète de la distribution devra répondre à trois conditions :

1° Tous les appareils récepteurs doivent recevoir chacun leur part d'énergie, fonctionner d'une façon indépendante et sans s'influencer les uns les autres.

2° La régulation nécessaire pour atteindre ce résultat doit s'opérer automatiquement et instantanément, par l'action seule de l'appareil et sans l'intervention de surveillants ou d'agents.

3° La régulation doit être telle que le générateur ne produise, à chaque instant, que la quantité totale d'électricité nécessaire au service des appareils en action.

Les deux modes de groupement indiqués ci-dessus peuvent être appliqués ; néanmoins, la disposition en dérivation est, dans la grande majorité des cas, préférable : la régulation y est plus facile ; de plus, la disposition en série met tous les appareils dans une dépendance réciproque beaucoup plus complète que l'autre système, en sorte qu'une faute en un point du circuit aurait sur l'ensemble une influence beaucoup plus grave.

Les théorèmes qui vont être démontrés permettent d'ailleurs de résoudre les deux cas.

Dans les études que nous allons exposer, on considérera principalement la distribution de la force mécanique, celle-ci étant le but le plus important à atteindre ; néanmoins les solutions sont absolument générales.

Représentation graphique de la marche des machines Caractéristiques pour une vitesse donnée.

Dans une machine à courant continu, supprimons la communication entre le circuit qui entoure les électro-aimants et forme le champ magnétique inducteur d'une part, de l'autre, le conducteur enroulé sur l'anneau ou la bobine mobile et formant le circuit induit. Dans le circuit inducteur lançons à l'aide d'une source étrangère des courants d'intensité déterminée, faisons tourner l'anneau induit avec une vitesse déterminée, enfin pour chaque intensité de

courant circulant dans le circuit inducteur, mesurons la force électromotrice produite sur l'induit.

Nous aurons ainsi pour chaque expérience une valeur de E correspondant à une valeur de I. En prenant pour abscisse I et pour ordonnée E, on peut former une courbe (fig. 2), que nous appellerons la *caractéristique* de la machine expérimentée. La forme de cette courbe dépend, en effet, de la construction de la machine, des dimensions et des rapports de ses diverses parties ; elle en représente le fonctionnement et caractérise nettement l'appareil. Cette courbe permet d'ailleurs, comme on le verra, de résoudre toutes les questions qui peuvent se poser dans l'emploi d'un appareil de cette nature.

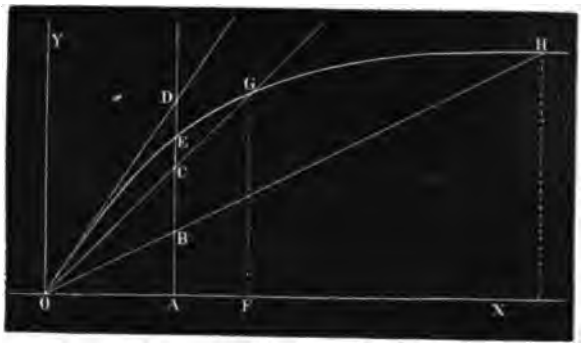

Fig. 2.

En effet, rétablissons la communication interrompue entre les inducteurs et l'induit, faisons tourner la machine avec la vitesse que nous lui avons donnée pendant les expériences, et prenons l'intensité du courant développé ; soit I cette intensité ; la machine s'excitant actuellement elle-même, c'est l'intensité I qui anime les électro-aimants et produit le champ magnétique. Or, si nous mesurons dans la figure qui porte la caractéristique l'abscisse OF correspondant à I, nous savons qu'avec ce champ magnétique et la vitesse V, la force électromotrice correspondante est égale à FG ; ce sera donc celle qui se développera dans le fonctionnement de l'appareil.

On en conclut immédiatement la valeur de la résistance, car on déduit de la loi de Ohm $I = \frac{E}{R}$ l'expression $R = \frac{E}{I} = \frac{GF}{OF} = \text{tang. GOF}$; la résistance totale R dans ce système est donc représentée par la tangente d'un angle.

Si l'on veut l'exprimer numériquement, il suffira de prendre sur l'axe des x une longueur OA quelconque, on élèvera en ce point une ordonnée indéfinie, sur laquelle on portera une longueur égale à OA ; cette longueur représentera l'ohm, puisqu'elle représente la formule $\frac{E}{I} = 1$ ohm, correspondant à $\text{tang}\, 45° = 1$, elle servira donc à graduer l'ordonnée OD. Si l'on considère un point quelconque H de la caractéristique, la longueur AB interceptée par la ligne OH représentera la résistance en ohms.

L'examen de cette courbe conduit à l'explication de plusieurs phénomènes intéressants. La forme sous laquelle nous la donnons est celle qu'elle affecte our les machines Gramme du type ordinaire à des vitesses moyennes, ainsi

que la théorie m'avait amené à le prévoir et comme l'expérience l'a depuis pleinement démontré.

Partons d'une valeur moyenne AC de la résistance et faisons-la diminuer ; la ligne OG s'abaisse vers OX dans la direction OH, on voit que la force électromotrice augmente d'abord rapidement, ensuite de moins en moins vite et finit par devenir stationnaire, la courbe tendant à devenir parallèle à l'axe des x; cela tient à ce que l'aimantation du fer doux des électro-aimants ne croît pas indéfiniment et qu'il y a un point de saturation, que l'on n'atteint pas effectivement, mais vers lequel on tend, que l'on atteint presque, et qui forme probablement une asymptote de la courbe.

D'autre part, au lieu de diminuer la résistance, augmentons-la ; la ligne OG tournera vers l'axe des y, elle coupera ainsi la courbe de plus en plus près de l'origine et, pour une position OD, elle deviendra tangente ; à ce point il n'y a plus de courant ; c'est le phénomène nommé désamorcement, jusqu'ici mal expliqué ; par la caractéristique on voit comment il y a une résistance déterminée pour laquelle l'excitation est nulle et la machine cesse de fonctionner.

Caractéristique pour différentes vitesses et différents enroulements.

Nous avons établi la caractéristique pour une vitesse de rotation donnée V ; si l'on veut avoir la caractéristique de la même machine pour une autre vitesse V', il suffira de multiplier les ordonnées par le rapport $\frac{V'}{V}$. En effet, à une même intensité I correspond un même champ magnétique ; les forces électromotrices, avec des vitesses différentes, sont alors proportionnelles aux vitesses respectives d'après les lois de l'induction. Cette construction donnerait une transformation de la courbe semblable à celle qui est représentée dans la figure 3.

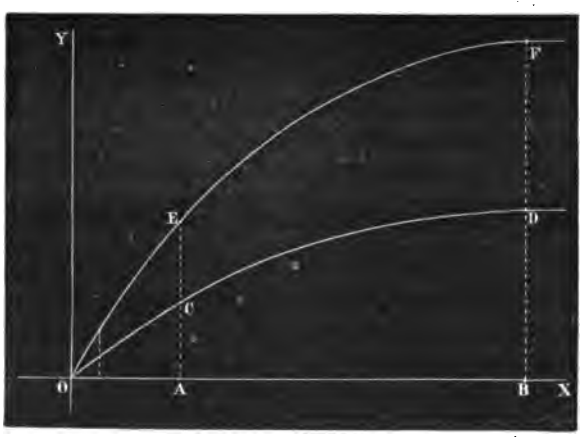

Fig. 3.

On remarquera que si, au lieu de changer la vitesse de rotation, on change l'enroulement de l'anneau, c'est-à-dire si on modifie le nombre de tours de fil sur l'anneau, sans rien changer aux autres conditions et spécialement au volume de cet anneau (ce qui s'obtiendrait en mettant plus de tours d'un fil plus fin),

la nouvelle caractéristique s'obtiendrait par une transformation analogue; en effet t étant l'ancien nombre de tours, t_1, le nouveau, la force électromotrice qui, toutes choses égales d'ailleurs, est proportionnelle à la longueur du fil, sera multipliée par le rapport $\frac{t_1}{t}$.

Si nous considérons (fig. 3) la caractéristique OCD correspondant à la vitesse v et la caractéristique OEF correspondant à la vitesse v_1, les résistances, pour une même intensité OA, seront données par les tangentes des angles COA et EOA; on peut obtenir directement ces divers éléments, connaissant la première caractéristique, sans qu'il soit nécessaire de construire la seconde courbe.

En effet, cherchons la force électromotrice et l'intensité pour une résistance donnée R, à une vitesse v_1, la caractéristique étant construite pour la vitesse v. Soit K le rapport $\frac{v_1}{v}$, soient E et I la force électromotrice et l'intensité cherchées; on sait qu'en nommant e la force électromotrice correspondant à la même intensité pour la vitesse v, pour la vitesse v_1 on aura $E = Ke$, d'où il suit $I = \frac{Ke}{R}$ ou encore $\frac{e}{I} = \frac{R}{K}$, c'est-à-dire qu'en construisant sur la caractéristique que nous possédons une résistance $\frac{R}{K}$ elle nous donnera l'intensité I. Pour cela, divisons l'axe des y (fig. 4) en parties proportionnelles aux résistances et l'axe x dans le sens négatif en parties proportionnelles aux vitesses, la vitesse primitive étant

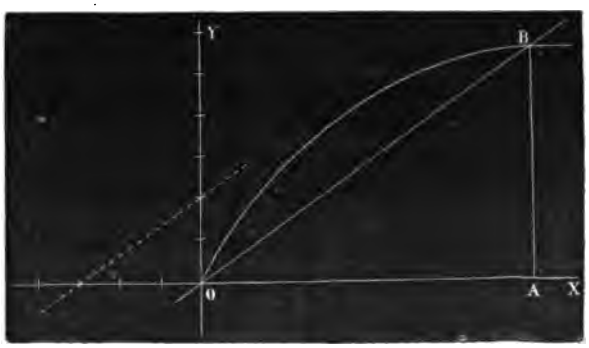

Fig. 4.

prise pour unité, l'unité étant la même pour les deux échelles; mesurons sur l'axe y la résistance R et prenons sur l'axe des x la grandeur $v_1 = K\,v$, joignons les points ainsi déterminés; la ligne qui les joint a une inclinaison dont la tangente est $\frac{R}{K}$; menons par l'origine la parallèle OB jusqu'à la rencontre de la caractéristique, la grandeur OA représente I et l'on aura E en prenant AB × K.

On peut apporter aux machines une autre modification consistant à changer l'enroulement de l'inducteur, bien entendu en maintenant toutes les autres dispositions de l'expérience y compris le volume de cet inducteur. Soit t le nombre primitif des spires de l'inducteur, t_1 le nombre nouveau. Le volume total étant le même, le nombre des spires compense l'affaiblissement du courant

dans chacune d'elles, en sorte qu'on aura la même excitation et le même champ magnétique, avec des intensités I et I_1 différentes, pourvu qu'on ait $t\,I = t_1\,I_1$. En sorte que, rien n'étant changé d'ailleurs, une force électromotrice E qui correspondait à une intensité I, correspondra actuellement à une intensité $I_1 = I \times \frac{t}{t_1}$, il suffira donc de faire varier les abscisses dans ce même rapport comme cela est indiqué dans la fig. 5, pour obtenir la nouvelle caractéristique.

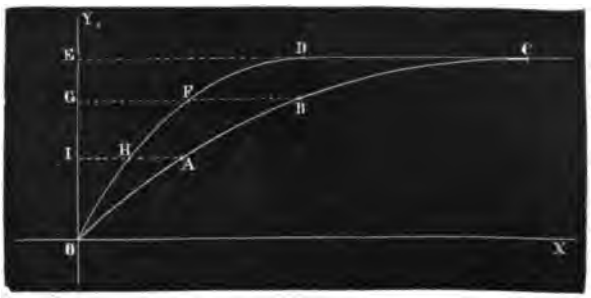

Fig. 5.

Si la machine avait reçu à la fois les deux modifications on opérerait successivement dans la caractéristique les deux transformations ou l'on tiendrait compte dans le calcul des deux coefficients à introduire.

Différence des potentiels en deux points de circuit comprenant entre eux une résistance donnée.

Dans un circuit de résistance totale $r + x$ nous voulons savoir quelle est la différence de potentiel e de deux points pris des deux côtés du générateur et comprenant entre eux la résistance r.

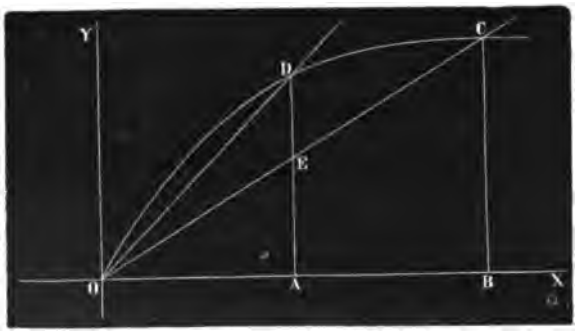

Fig. 6.

Prenons au-dessus de l'axe des x l'angle DOX (fig. 6) tel que tang. DOX $= r + x$, et l'angle COX tel que tang. COX $= r$; ils représenteront le premier la résistance totale, le second la résistance comprise entre les points donnés.

On a :

$$DA = OA \text{ tang } DOA = I(r + x);$$
$$EA = OA \text{ tang } COA = Ir;$$
$$DA - EA = DE = Ix.$$

Or Ix, d'après la loi de Ohm, est la différence de potentiel entre les deux extrémités du circuit de résistance x, qui forme le complément du circuit de résistance r, c'est donc la différence e cherchée.

Supposons, comme cas particulier, que COX représente la résistance intérieure de la machine, et que l'on fasse varier la résistance totale ; DE représentera la différence de potentiel aux bornes de la machine ; elle sera d'abord nulle lorsque OD coïncidera avec OC, elle ira ensuite en croissant et passera par un maximum pour revenir à zéro lorsque la machine se désamorcera.

Ce phénomène avait été entrevu, la caractéristique permet d'en voir clairement la marche et la raison d'être.

Caractéristique avec champ magnétique initial ; ses conséquences.

Supposons actuellement que les inducteurs portent deux circuits distincts formés de fils enroulés ensemble l'un à côté de l'autre, de façon que les deux fils voisins soient sensiblement à la même distance du noyau de fer doux magnétisé ; si deux courants distincts passent dans les deux fils, leurs actions s'ajouteront, et l'excitation sera la même que s'il passait un seul courant égal à la somme des deux courants réels qui circulent.

Cela posé, faisons passer dans un de ces circuits inducteurs un courant constant venant d'une source extérieure ; la résistance de ce circuit ainsi séparé

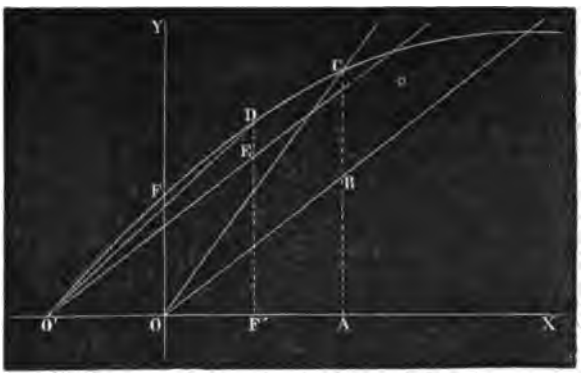

Fig. 7.

du circuit général n'aura point à compter dans la résistance totale ; au contraire, le deuxième circuit inducteur entrera dans le circuit général et recevra le courant produit par la machine.

Dans ces conditions nouvelles, que devient la caractéristique ?

Il faut remarquer que, dans toutes les études que nous allons exposer, nous supposons qu'on fait usage d'une même vitesse constante ; les théorèmes précé-

dents montrent comment il faudrait faire pour appliquer les résultats à d'autres vitesses.

Soit O'FC (fig. 7), la caractéristique, obtenue comme nous l'avons fait jusqu'ici. Supposons le circuit inducteur séparé parcouru par un courant d'intensité O'O ; l'autre circuit ne fonctionnant pas encore, la force électromotrice sera OF' ; F' sera le point de départ de la nouvelle caractéristique ; le circuit général entre alors en fonction et tout se passe comme si un courant égal à la somme de ces deux courants parcourait une seule hélice d'un volume égal à l'ensemble des deux hélices réelles. La caractéristique, à partir de ce point, conserve la forme qu'elle avait, la modification consiste simplement à reporter l'origine des coordonnées du point O' au point O ; la caractéristique partant du point F', les résistances se compteront alors à partir du point O.

Une première conséquence s'aperçoit immédiatement : soit, dans le premier état, c'est-à-dire sans champ magnétique extérieur, EO'X, la résistance intérieure de la machine, la différence de potentiel maximum dont on pourra disposer sera représentée par D E et correspondra à la résistance DO'X. Avec le champ magnétique initial, la résistance intérieure étant BOX = EO'X, la différence de potentiel disponible croîtra beaucoup, comme on le voit par la ligne CB qui n'est pas encore le maximum et qui est très supérieure à DE.

Caractéristique rectiligne.

Si l'on examine une caractéristique, on remarque qu'elle commence par une portion dont la courbure est très faible, jusqu'au moment où l'on s'approche du point de saturation des électro-aimants. Jusqu'à ce point, la caractéristique peut être très bien assimilée à une ligne droite. En employant des machines pourvues d'électro-aimants de dimensions considérables par rapport à l'induit, on reculera beaucoup le point de saturation et on prolongera cette partie rectiligne ; il y aura sans doute lieu d'appliquer ce procédé lorsqu'on réalisera la distribution sur une vaste échelle, mais, dès à présent et telles qu'elles sont construites, les machines de Gramme, l'expérience l'a prouvé, ont une caractéristique assez rectiligne pour que tous les raisonnements qui vont suivre s'appliquent très bien.

Différence des potentiels constants.

Si l'on relève pour une vitesse donnée la caractéristique d'une machine, on arrivera à tracer, d'après les considérations précédentes, une ligne droite d'une inclinaison déterminée ; si l'on fait varier la vitesse, on devra, ainsi que cela a été dit plus haut, multiplier toutes les ordonnées par un nombre constant, ce qui revient à faire tourner la caractéristique droite d'un certain angle autour de son point de rencontre avec l'axe des x.

Ceci posé, soit O'G (fig. 8) la caractéristique d'une machine ; en lui adjoignant un champ magnétique extérieur constant, la caractéristique sera représentée par la portion FG de la ligne droite. Soit DOX la résistance intérieure de la machine, les lignes FG et OD se rencontrent généralement, en sorte que la portion des ordonnées comprise entre ces lignes, qui représente comme on sait la différence des potentiels aux bornes, est variable.

Mais nous possédons le moyen de la rendre constante. Nous pouvons en effet, en modifiant la vitesse, faire tourner la droite O'G autour du point O', il

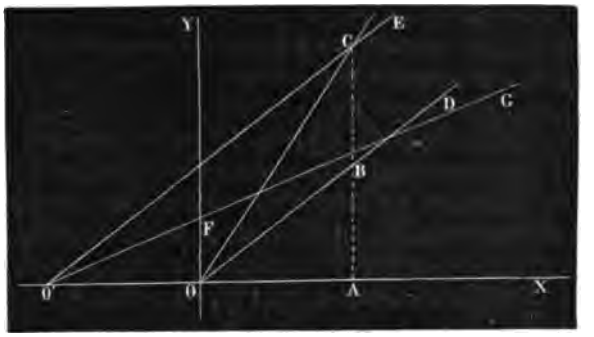

Fig. 8.

nous sera donc possible de l'amener à la position O'C, parallèle à OD. Dans ces conditions, la ligne CB qui représente la différence des potentiels aux bornes est constante, quelle que soit la résistance totale COX que l'on donne au circuit.

Distribution en dérivation.

Pour obtenir des circuits en dérivation fonctionnant indépendamment les uns des autres, il suffit, nous le savons, de maintenir aux bornes de la machine une différence de potentiel e constante ; chacun des circuits reçoit alors une intensité $i = er$, qui ne dépend que de sa résistance propre r.

Le théorème précédent vient de nous fournir le moyen d'atteindre ce résultat sans l'introduction de régulateurs mécaniques et par le seul jeu des actions électriques : remarquons d'ailleurs que l'énergie totale dépensée reste toujours égale à la somme des énergies récupérées, en sorte que cette solution répond d'une façon absolue aux trois conditions posées plus haut.

Elle n'offre aucune difficulté dans la pratique. On commencera par relever à une vitesse connue v, la caractéristique de la machine. Le coefficient d'inclinaison de cette ligne est égal à l'accroissement de force électromotrice pour une intensité égale à l'unité. En appelant E_0 la force électromotrice due au courant extérieur constant, il est donc représenté par

$$\frac{E - E_0}{I};$$

soit r la résistance intérieure; si ces deux nombres ne sont pas égaux, on cherchera une vitesse v' telle qu'on ait :

$$\frac{v'}{v}\,\frac{E - E_0}{I} = r$$

d'où

$$v' = \frac{v\,r}{\dfrac{E - E_0}{I}}$$

On déterminera d'ailleurs alors l'excitation extérieure suivant la différence de potentiel constante dont on voudra disposer sur le circuit.

Cela fait, on placera sur chacun des pôles de la machine un fil conducteur qui possédera le même potentiel que ce pôle, et à tous les points où l'on voudra utiliser une portion de l'énergie produite, on joindra ces deux conducteurs par une dérivation de résistance convenable.

On peut également n'employer qu'un seul câble et faire le retour par la terre.

Il est évident qu'en opérant ainsi, surtout si les dérivations sont nombreuses, on ne conservera pas sur toute la longueur des conducteurs polaires la même différence de potentiel, les dérivations successives tendront à la diminuer. Il n'y a là aucune difficulté, on est dans le même cas que toutes les distributions possibles, gaz, eau, etc., qui toutes perdent leur charge initiale à mesure qu'elles se dépensent ; il suffit qu'on puisse calculer cette perte et savoir en chaque point de quelle pression on dispose ; c'est ce que l'on peut connaître avec beaucoup de précision pour l'électricité ; cette variation, s'opérant suivant une loi déterminée, n'introduit donc aucun trouble dans le système.

Distribution en série.

Ainsi que nous l'avons dit, lorsque les appareils récepteurs sont placés en série, ce n'est plus la différence de potentiel aux bornes du générateur qu'il faut maintenir constante, mais bien l'intensité du courant.

Pour atteindre ce résultat, nous produirons l'excitation des électro-aimants à l'aide d'un courant dérivé du courant principal.

Il faut alors distinguer dans le circuit plusieurs parties.

Soit I_a le courant total qui se développe dans l'anneau induit ;

I_b, la portion dérivée du courant qui traverse les inducteurs et produit le champ magnétique.

I_x, la portion qui parcourt le circuit extérieur ;

a, la résistance de l'anneau ;

b, celle des inducteurs ;

x, celle du circuit extérieur.

Enfin, soit E la force électromotrice totale et e la différence de potentiel aux points où le circuit inducteur dérivé se sépare du circuit extérieur utile.

L'intensité I_x est celle qu'il faudra maintenir constante pour distribuer l'énergie à des appareils en série.

Nous avons d'abord :

$$I_a = I_b + I_x,$$

qui exprime simplement que le courant total est la somme de ses dérivations.

En considérant la différence du potentiel au point de dérivation, on a :

$$I_x = \frac{e}{x}$$

et aussi :

$$I_b = \frac{e}{b}$$

d'où :

$$I_a = \frac{e}{x} + \frac{e}{b}.$$

Mais l'intensité totale I a une autre expression; elle est égale à la force électromotrice totale divisée par la résistance totale. Celle-ci s'obtiendra, en ajoutant à la résistance a de la partie commune des circuits la résistance formée par l'ensemble des deux branches : celle-ci est égale, d'après une règle connue, à l'inverse de la somme des inverses des résistances, c'est-à-dire, à $\frac{1}{\frac{1}{b}+\frac{1}{x}}$; la résistance totale sera donc $a+\frac{1}{\frac{1}{b}+\frac{1}{x}}$ d'où l'on conclut :

$$I_a = \frac{E}{a+\frac{1}{\frac{1}{b}+\frac{1}{x}}}$$

en égalant les deux expressions de I_a, on a :

$$\frac{e}{b}+\frac{e}{x} = \frac{E}{a+\frac{1}{\frac{1}{b}+\frac{1}{x}}}$$

$$e\left(\frac{1}{b}+\frac{1}{x}\right) = \frac{E\left(\frac{1}{b}+\frac{1}{x}\right)}{a\left(\frac{1}{b}+\frac{1}{x}\right)+1}$$

$$e = \frac{E}{a\left(\frac{1}{b}+\frac{1}{x}\right)+1} = \frac{Ebx}{a(x+b)+bx} = \frac{Ebx}{(a+b)x+ab}$$

donc

$$\frac{Eb}{e} = \frac{(a+b)x+ab}{x}$$

ou encore

$$\frac{(a+b)x+ab}{x} = \frac{E}{\frac{e}{b}}$$

$\frac{e}{b}$ n'est autre que I_b, et l'on a enfin :

$$\frac{(a+b)x+ab}{x} = \frac{E}{I_b}.$$

Ceci posé, soit OEF (fig. 9) la caractéristique de la machine, traçons une ligne droite CB dont l'équation soit

$$y = (a+b)x+ab,$$

prenons la longueur $OA = x$, élevons l'ordonnée du point A jusqu'au point B et tirons OB; cette ligne rencontre la caractéristique en un point E dont nous

mènerons l'ordonnée EI. Prenons alors OJ $= b$ et menons la droite JK parallèle à l'axe des X, elle rencontre en G l'ordonnée AB; menons OG, cette droite rencontre en H l'ordonnée EI; la longueur IH ainsi déterminée représentera l'intensité I_x que l'on cherche. En effet les triangles semblables OIE, OAB donnent :

$$\frac{EI}{OI} = \frac{AB}{OA} = \frac{y}{x} = \frac{(a+b)\,x + ab}{x} = \frac{E}{I_b};$$

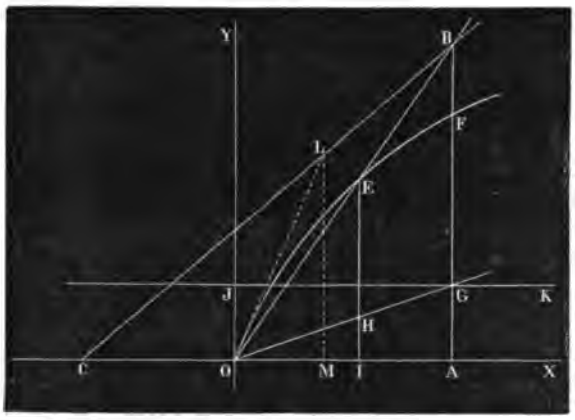

Fig. 9.

D'ailleurs d'après la construction même de la caractéristique, EI est égal à E et OI à I_b; d'autre part, les triangles semblables OIH, OAG donnent :

$$\frac{IH}{OI} = \frac{AG}{OA}$$

ou

$$\frac{IH}{I_b} = \frac{b}{x},$$

donc

$$IH = I_b \frac{b}{x} = \frac{e}{b} \times \frac{b}{x} = \frac{e}{x} = I_x,$$

ce qu'il fallait démontrer.

Limite de désamorcement.

Nous possédons ainsi le moyen de représenter graphiquement la quantité I_x qu'il s'agit de rendre constante.

Une construction simple permettra, à l'aide de la caractéristique, de déterminer dans cette disposition nouvelle le point de désamorcement; il suffira de mener OL tangente à la caractéristique à l'origine, jusqu'à la rencontre de la ligne

$$y = (a + b)\,x + ab,$$

en L, d'abaisser LM, OM sera la résistance cherchée.

Intensité extérieure constante.

Comme nous l'avons fait précédemment, assimilons la caractéristique à une droite, et à l'aide d'un courant étranger, créons un champ magnétique initial, en sorte que la caractéristique ne passera plus par l'origine et sera représentée par une ligne droite coupant l'axe des y (fig. 10).

Construisons la ligne $y=(a+b)x+ab$ qui est définie par les données de construction de la machine. Par le procédé que nous avons donné ci-dessus, on peut déterminer une vitesse de la machine telle que sa caractéristique soit parallèle à la droite $y=(a+b)\,x+ab$.

Le résultat obtenu est représenté dans la fig. 10. CB est la ligne $y=(a+b)\,x+ab$, NF est la caractéristique rendue parallèle; cherchons l'intensité pour

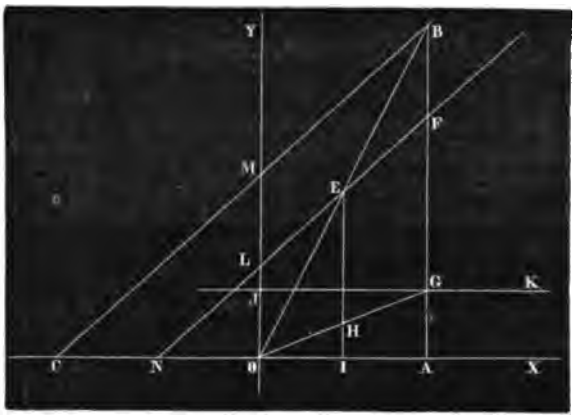

Fig. 10.

une résistance extérieure connue x, nous prendrons OJ égal à b, nous menons la ligne JK parallèle à l'axe des x; prenons $OA=x$, élevons l'ordonnée BA jusqu'à la droite CB, au point B, joignons OB, cette droite rencontre la caractéristique en E, abaissons EI, joignons OG; d'après ce que nous venons de démontrer, $IH=I_x$.

Or on a, dans les triangles semblables

$$\frac{IH}{AG}=\frac{OH}{OG}=\frac{OE}{OB}=\frac{OL}{OM}$$

or, le dernier rapport est constant, donc

$$\frac{I_x}{b}=a$$

$$I_x=ab$$

valeur constante.

Le procédé employé pour déterminer la vitesse que doit avoir la machine, pour que la caractéristique ait l'inclinaison voulue, est analogue à celui que

nous avons déjà mis en œuvre ; dans le cas actuel, il s'applique de la façon suivante :

La droite qui détermine l'inclinaison à obtenir ayant pour équation $y = (a+b)x + ab$, son coefficient d'inclinaison est $-(a+b)$. Celui de l'ancienne caractéristique obtenue avec la vitesse V et le courant I étant

$$\frac{E - E_0}{I}$$

ainsi que nous l'avons déjà expliqué, il faudra chercher une vitesse V′ telle que l'on ait :

$$\frac{V'}{V}\,\frac{E - E_0}{I} = -(a + b);$$

donc :

$$V' = \frac{-(a + b)}{\dfrac{E - E_0}{I}}\,V,$$

or, remarquons que $-(a+b)$ n'est autre chose que la résistance totale, dans le cas où les inducteurs et l'induit seraient réunis en un seul circuit, comme dans la disposition ordinaire. C'est ce que nous avons nommé R dans les théorèmes précédents. Nous arrivons donc à conclure que, dans les deux cas, qu'il s'agisse de maintenir constante la différence de potentiel ou l'intensité du courant, la vitesse que doit recevoir la machine est la même, la différence réside dans le mode d'accouplement des circuits inducteur et induit ; le même appareil pourrait donc fournir les deux résultats par le seul jeu d'un commutateur.

ANNEXE II

MÉMOIRE DE M. LE Dr FRŒLICH

RELATION DES EXPÉRIENCES DE LA MAISON SIEMENS ET HALSKE SUR LES MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES, ET LA TRANSMISSION DES FORCES PAR L'ÉLECTRICITÉ.

Le manque presque absolu d'un matériel d'expérimentation suffisant et l'incertitude des considérations théoriques hasardées jusqu'à ce jour avaient fait sentir de plus en plus vivement à MM. Siemens et Halske la nécessité de faire procéder, dans leur établissement, à une série très étendue d'expériences sur la transmission des forces par l'électricité. Ce sont ces expériences qui ont été l'occasion de la relation et des considérations théoriques suivantes.

Au cours des expériences qui furent faites sur la transmission des forces par l'électricité, il fut bientôt établi que le nombre des circonstances exerçant une influence notable sur cette transmission est considérable, et que, par conséquent, il fallait donner à ces expériences un très grand développement, si l'on n'arrivait pas à trouver une théorie simple, reproduisant les circonstances dans leur partie essentielle, et d'où l'on pût tirer également des conclusions pour les cas n'appartenant pas au domaine de ces expériences. Mais, pour arriver à cette théorie, il fallait une connaissance exacte des phénomènes qui se produisaient dans la machine dynamo-électrique simple, ainsi que de leurs causes; en un mot, on arriva à la certitude qu'il fallait absolument travailler à combiner en un système tout le domaine de ces phénomènes, afin de pouvoir répondre aux questions des techniciens avec une précision qui permît de passer à la pratique.

Ce qui suit est un résumé succinct des résultats obtenus par les expériences en question.

Les essais sur les appareils dynamo-électriques publiés jusqu'à cette époque sont, il est vrai, assez nombreux (*Annales de Wiedemann*, t. VIII, page 494, Meyer et Auerbach) et ces travaux témoignent, dans quelques parties, de beaucoup de soin et d'attention; nous n'avons pu, néanmoins, en tirer grand profit, leurs auteurs s'étant, la plupart du temps, bornés à rechercher les courbes des courants produits par une machine spéciale, sans songer à séparer ce qui était individuel à ladite machine des phénomènes généraux propres à toutes les machines dynamo-électriques, et sans étudier et établir séparément les différentes causes du courant.

I. — DU COURANT DE LA MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE.

Équation de l'équilibre dynamo-électrique.

Quand on applique la loi d'Ohm au courant d'une machine à aimants permanents, on obtient :

$$I = \frac{nMv}{R}. \tag{1}$$

I représente le courant, v le nombre de tours par minute, R la résistance totale du circuit parcouru, n le nombre de tours du fil de l'anneau et M une grandeur que nous définirons le *rapport de la* force électromotrice au produit nv, et que nous appellerons *magnétisme actif*.

Cette dernière grandeur est la somme des forces électromotrices que les aimants permanents et le fer de l'anneau exercent sur une seule spire du fil induit à chaque tour.

La même équation s'applique également à la machine dynamo-électrique; seulement, pour cette dernière, il faut ajouter cette circonstance qu'elle produit elle-même son aimantation, ce que nous exprimerons par

$$M = f(I) \tag{2}$$

c'est-à-dire que le magnétisme actif est une fonction de l'intensité du courant,

tandis que, dans la machine à aimants permanents, M est une grandeur presque constante.

L'équation (1) est en même temps celle de l'équilibre dynamo-électrique : en effet, lors de *l'entrée en action* de la machine, au moment où le courant s'établit, mais avant d'avoir atteint l'état stationnaire, le courant $\frac{nMv}{R}$ produit par le magnétisme existant à ce moment-là, est toujours plus intense que celui qui est nécessaire au maintien de ce magnétisme et les deux grandeurs de courant ne deviennent égales que dans l'état stationnaire ou dans l'équilibre dynamo-électrique.

L'équation (1) ainsi formulée :

$$\frac{I}{n.M} = \frac{I}{f(I)} = \frac{v}{R} \tag{3}$$

renferme le principe important qui suit : *l'intensité du courant est fonction du rapport du nombre des tours à la résistance totale.* Ce théorème s'applique à toutes les machines dynamo-électriques et à toute position du *frotteur*, et doit être considéré comme l'équation fondamentale.

L'équation sert également à calculer la puissance caractéristique de chaque machine.

L'unique grandeur qui caractérise l'individualité d'une machine et qui suffit pour la caractériser, est le produit du magnétisme *actif* M par le nombre de tours n du fil de l'anneau; ce dernier nombre étant donné, et le magnétisme actif étant fonction de l'intensité du courant, pour une certaine machine et une certaine position du *frotteur* également déterminée, on peut toujours, par le nombre de tours et la résistance totale, calculer l'intensité du courant.

L'équation (1) démontre également quelle forme cette fonction doit avoir pour que la machine puisse produire le courant le plus fort possible.

Si le magnétisme actif était simplement proportionnel à l'intensité du courant, l'équation (1) n'aurait pas de sens; comme, en général, il n'y aurait plus, dans cette hypothèse, d'état stationnaire, le courant augmenterait à l'infini. L'équilibre dynamo-électrique ne s'établit donc que s'il y a un écart de proportion entre le magnétisme et l'intensité du courant, ce qui est le cas dans toutes les machines existantes.

Prenons $n\,M = cI - \varphi(I)$ où $\varphi(I)$ représente cet écart, l'équation (1) nous donne :

$$\frac{v}{R} = \frac{1}{c - \frac{\varphi(I)}{I}};$$

d'où il résulte que, pour obtenir une certaine intensité de courant, plus l'écart de proportionnalité du magnétisme diminue, plus le nombre de tours nécessaire diminue aussi. Une machine dynamo-électrique est donc d'autant plus parfaite que la relation entre le magnétisme actif et l'intensité du courant se rapproche de la proportionnalité.

2° *Examen de l'équation d'équilibre.*

C'est sur une machine du plus grand modèle de la maison Siemens et Halske (modèle D[a]) que furent faites des expériences très étendues, pour éprouver la valeur de l'équation fondamentale en faisant varier, à cet effet, dans des limites aussi larges que possible, le nombre des tours et la résistance, et en mesurant l'intensité des courants relatifs. La mesure des courants se fit à l'aide d'un électro-dynamomètre, de la construction décrite dans mon ouvrage sur l'électricité et le magnétisme, page 402; la *constante* de l'appareil s'établissait d'après les dépôts de cuivre. Les mesures de courant étaient exprimées en unité : $\frac{\text{Daniell}}{\text{Unité Siemens}}$, Kohlrausch définissant le Daniell comme la force électromotrice qui, dans la résistance d'une unité Siemens, produit un courant déposant en une heure 1 gramme 38 de cuivre.

La machine fut essayée successivement sous trois enroulements différents, dont les données suivent :

BOBINE :	ÉLECTRO-AIMANTS. DISTANCE MOYENNE de l'enroulement des fils au fer. r	NOMBRE des TOURS DE FILS. m	RÉSISTANCE. s	ANNEAU. NOMBRE des TOURS DE FILS. n	RÉSISTANCE a	RÉSISTANCE TOTALE de la machine. $a+s$
	mm.		E		E	E
I.	10,5	456	0,290	288	0,145	0,435
II	21,0	856	0,580	288	0,145	0,725
III	14,0	1960	4,140	1296	3,000	7,140

La résistance extérieure consistait en un système de fers plats, tendus à l'air libre, lesquels étaient relativement peu échauffés par les forts courants qui s'y produisaient. Cette résistance extérieure, qu'on faisait intervenir de temps en temps, était mesurée après chaque expérience.

La position des balais du collecteur pouvait être changée à volonté; à chaque expérience, on choisissait la position qui faisait obtenir le maximum de courant.

Les tableaux suivants, I, II, III contiennent les résultats des expériences faites avec les bobines (enroulements) I, II, III. On y trouvera indiqués : le nombre de tours par minute v, la résistance totale R en U. S., l'intensité du courant I en $\frac{\text{Daniell}}{\text{U. S.}}$, le rapport $\frac{v}{R}$ et le magnétisme actif $M = \frac{IR}{nv}$.

La courbe I de la figure 11 indique ces mêmes expériences (I étant fonction de $\frac{v}{R}$); les lignes pointillées représentant les formules d'interpolation dont il sera parlé plus bas. Dans la courbe III, les valeurs de $\frac{v}{R}$ sont portées à une échelle dix fois plus grande.

TABLEAU I. — ENROULEMENT I.

v TOURS.	R RÉSISTANCE TOTALE.	I INTENSITÉ DU COURANT.	$\frac{v}{R}$	$M = \frac{IR}{Rv}$ MAGNÉTISME ACTIF.
506	2,82	30,10	179,00	0,000 583
608	2,91	35,30	209,00	0,000 587
712	2,98	41,50	239,00	0,000 604
791	3,03	45,60	261,00	0,000 611
902	3,11	49,20	290,00	0,000 590
1017	3,17	54,70	322,00	0,000 590
112	2,77	0,30	40,40	0,000 026
203	2,78	0,58	73,00	0,000 028
301	2,79	1,18	108,00	0,000 233
400	2,81	19,90	143,00	0,000 486
390	2,83	19,90	138,00	0,000 500
510	2,70	32,00	189,00	0,000 587
610	2,69	40,20	227,00	0,000 615
709	2,74	44,70	259,00	0,000 601
812	2,80	50,40	290,00	0,000 604
919	2,71	55,70	339,00	0,000 569
105	2,47	0,29	42,50	0,000 024
194	2,51	1,20	77,20	0,000 054
307	2,52	15,50	122,00	0,000 441
399	2,54	25,90	157,00	0,000 573
105	1,95	0,38	53,90	0,000 024
203	2,01	1,88	101,00	0,000 065
300	2,02	23,70	148,00	0,000 556
401	2,04	33,90	197,00	0,000 601
501	2,14	41,50	234,00	0,000 615
608	2,18	48,60	279,00	0,000 604
704	2,22	53,40	317,00	0,000 583
822	2,22	59,90	370,00	0,000 563
111	1,47	0,88	75,50	0,000 042
198	1,57	14,70	126,00	0,000 403
301	1,55	33,60	194,00	0,000 601
401	1,57	45,90	255,00	0,000 625
498	1,65	52,00	302,00	0,000 597
601	1,70	58,80	354,00	0,000 576
728	1,74	67,60	418,00	0,000 559
109	1,25	1,06	87,00	0,000 042
212	1,31	27,50	162,00	0,000 590
309	1,33	41,50	229,00	0,000 629
413	1,37	53,40	302,00	0,000 615
592	1,43	65,60	414,00	0,000 549
493	1,46	58,50	338,00	0,000 601
114	0,92	6,90	124,00	0,000 194
207	0,94	39,50	220,00	0,000 622
313	0,97	58,40	323,00	0,000 629
415	1,01	71,10	411,00	0,000 601
497	1,02	79,80	487,00	0,000 569
109	0,65	27,50	168,00	0,000 566
194	0,72	50,90	269,00	0,000 656
293	0,73	71,30	401,00	0,000 618
424	0,73	95,20	581,00	0,000 569
105	0,48	38,80	219,00	0,000 615
194	0,56	63,00	346,00	0,000 632
294	0,56	88,28	525,00	0,000 583

TABLEAU II. — ENROULEMENT II.

v TOURS.	R RÉSISTANCE TOTALE.	I INTENSITÉ DU COURANT.	$\frac{v}{R}$	$M = \frac{IR}{nv}$ MAGNÉTISME ACTIF.
201	3,10	10,40	64,80	0,000 556
415	3,14	24,00	132,00	0,000 646
609	3,24	33,90	188,00	0,000 625
812	3,31	46,40	245,00	0,000 656
206	2,12	18,40	97,20	0,000 656
408	2,12	40,90	192,00	0,000 736
607	2,08	62,90	292,00	0,000 750
195	1,27	32,19	154,00	0,000 726
399	1,29	67,70	309,00	0,000 760
207	3,24	10,40	63,90	0,000 566

TABLEAU III. — ENROULEMENT III.

v TOURS.	R RÉSISTANCE TOTALE.	I INTENSITÉ DU COURANT.	$\frac{v}{R}$	$M = \frac{IR}{nv}$ MAGNÉTISME ACTIF.
202	19,00	7,95	10,69	0,000 577
304	19,20	12,60	15,00	0,000 612
199	22,70	5,95	8,77	0,0 0 524
301	23,00	10,20	13,10	0,000 601
405	23,00	13,60	17,40	0,000 604

Il résulte de ces expériences que l'intensité du courant n'est en réalité qu'une fonction du rapport $\frac{v}{R}$, comme le montre l'équation (3); si v et R étaient varia-

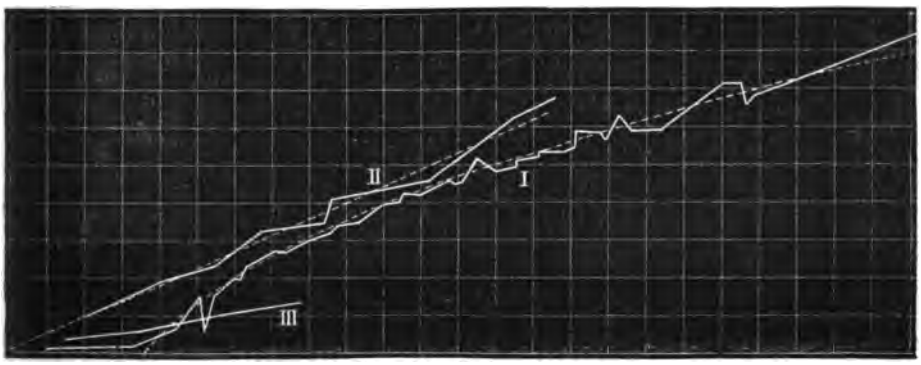

Fig. 11.

bles, influant alors, chacun séparément, sur l'intensité du courant, les intensités de courant ne pourraient être représentées par une seule et unique courbe, tandis que leur représentation par une seule courbe se conforme évidemment

aux observations, et les écarts qui se produisent portent le caractère de fautes commises pendant l'expérience.

Ce n'est pourtant pas là tout à fait la stricte vérité.

En effet, si I n'était qu'une fonction de $\frac{v}{R}$, une intensité de courant déterminée se produisant pour une position déterminée du frotteur et des valeurs également déterminées de v et R, il faudrait que cette intensité de courant ne changeât pas, lorsque le nombre de tours et la résistance totale sont changés dans la même proportion. Ce n'est pas exactement ce qui arrive; il faut même, lorsque v et R subissent une augmentation égale, tourner légèrement le frotteur dans le sens de la rotation de l'anneau, pour maintenir l'intensité du courant égale à celle que l'on possédait auparavant.

Néanmoins, ce phénomène, qui indique que le magnétisme de l'anneau est un peu *entraîné* par la rotation, est d'une importance peu appréciable pour la pratique. Nous ne nous en occuperons donc plus, bien qu'il faille toujours en tenir compte dans l'établissement du frotteur.

Il nous reste encore à examiner si la série d'expériences, la plus complète qui ait été publiée jusqu'aujourd'hui, et qui a été faite par MM. Meyer et Auerbach avec une machine Gramme, concorde avec notre équation fondamentale.

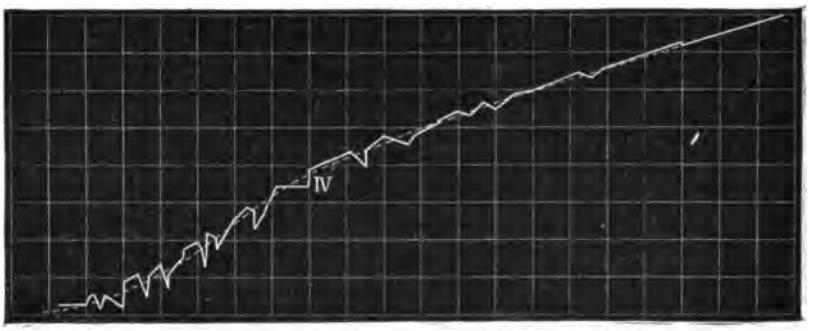

Fig. 12.

MM. Meyer et Auerbach ont, il est vrai, mis en avant l'équation (1), mais ils ne paraissent pas en avoir examiné la généralité. Si, d'après le tableau final donné par ces physiciens, on représente I comme fonction de $\frac{v}{R}$, on obtient la courbe IV, figure 12 ; cette figure montre, il est vrai, que les écarts de la courbe, obtenue par les observations, sont plus grands qu'on ne devait s'y attendre, après des expériences faites avec tant d'exactitude; mais probablement, la cause en est dans la position des frotteurs, qui étaient toujours les mêmes dans ces expériences[1]. Le fait essentiel, c'est que l'intensité du courant ne se montre, là aussi, que comme une fonction du rapport $\frac{v}{R}$.

La relation reliant l'intensité du courant au rapport du nombre de tours et à la résistance, est clairement représentée par la figure 11. Ce n'est là, natu-

1. Les expériences faites avec des intensités de courant très faibles ne se trouvent pas dans nos tableaux, parce qu'alors les machines ne fonctionnent pas encore comme machines dynamo-électriques.

rellement, que le caractère individuel des machines essayées, lequel dépend de la construction, des enroulements, etc.

La courbe I, obtenue par le premier enroulement, relativement faible, des électros, concorde, dans la forme, avec celles obtenues par MM. Meyer, Auerbach et d'autres : elle commence par monter assez brusquement, puis elle suit, pendant une assez longue période, une ligne presque absolument droite et, plus tard, s'en éloigne peu à peu.

Au contraire, la courbe II, obtenue par le second enroulement, lequel est une fois plus fort que le premier, — mais qui repose sur des expériences moins nombreuses et moins soigneusement faites, — affecte généralement une ligne droite, — de même la courbe III, mais dans l'usage pratique, on ne produit avec cette machine que des intensités de courant entre 20 et 50 $\frac{\text{Daniell}}{\text{U. S.}}$, en employant les enroulements I et II ; entre ces deux points, la courbe I est donc, sensiblement, une ligne droite, et nous n'allons pas trop loin en prétendant que, pour la pratique, il faut considérer l'*intensité du courant comme une fonction linéaire du rapport du nombre de tours à la résistance.*

Ce résultat, qui est celui qu'on obtient, dans les parties essentielles, avec toutes les machines de Hefner-Alteneck, ainsi qu'avec la machine Gramme essayée par MM. Meyer et Auerbach, résultat qui simplifie étonnamment toutes les questions relatives à ces machines, fait considérer la machine dynamo-électrique comme une sorte de machine à aimants permanents. Bien que le magnétisme actif de la première aille toujours en augmentant avec le courant, — cela, dans les bornes de la pratique, — tandis que celui de la dernière reste presque constant, l'augmentation du courant est, dans les deux machines, proportionnel à l'augmentation du rapport du nombre des tours à la résistance. Il n'y a, entre les deux machines, qu'une différence importante : la machine à aimants permanents, même par une rotation des plus ralenties, produit un courant, tandis que la machine dynamique n'en donne qu'après avoir atteint la vitesse que nous appelons la vitesse *perdue.*

On jugera de l'exactitude de notre théorie d'après les courbes ; les écarts entre notre théorie et la réalité n'ont aucune influence dans la pratique.

3° *Le magnétisme actif.*

La relation entre le magnétisme actif et l'intensité du courant est représentée par les courbes V, VI, VII, figure 13, pour les enroulements I, II, III, d'après les tableaux I, II, III. La courbe VIII (figure 14) montre la marche du magnétisme actif de la machine Gramme calculée d'après les expériences de MM. Mayer et Auerbach, marche absolument identique à celle des courbes précitées. Cette dépendance se caractérise en général, dans les machines dont nous avons parlé, en ce sens que, au début, le magnétisme actif est proportionnel à l'intensité du courant, puis s'écarte toujours plus de la proportionnalité, et passe asymptotiquement à un maximum. Il faut même, pour produire des courants plus intenses, que le magnétisme s'écarte de ce maximum ; car si les électro-aimants sont aimantés au maximum, l'effet affaiblissant du courant sur les fils de l'anneau doit toujours aller en croissant, et le *magnétisme actif* doit diminuer. Ajoutons toutefois que cela n'a lieu que pour des intensités de courant dépassant de beaucoup celles qui se produisent dans la pratique.

Donc, si nous nous bornons à la description des phénomènes de la pratique, nous pouvons admettre que le magnétisme actif finit par atteindre un maximum constant.

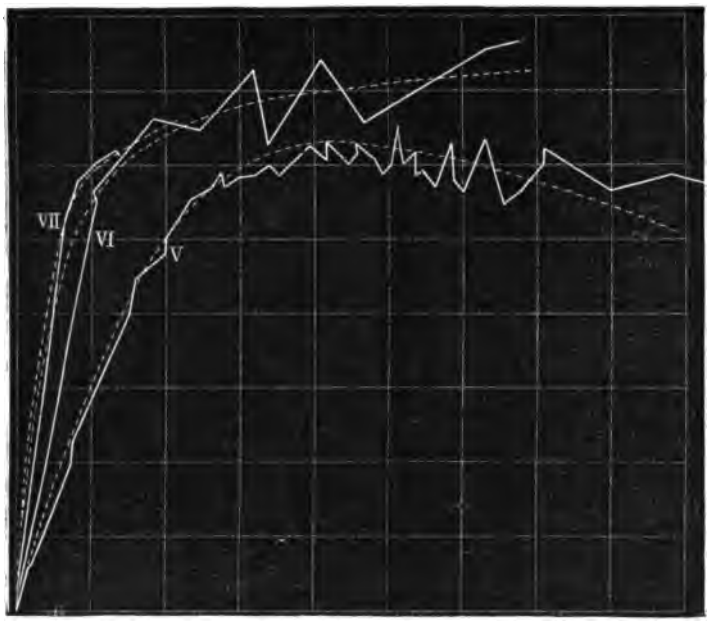

Fig. 13.

Les deux traits caractéristiques de la courbe du magnétisme, la proportionnalité dans le commencement et le maximum final, proviennent de ce que l'in-

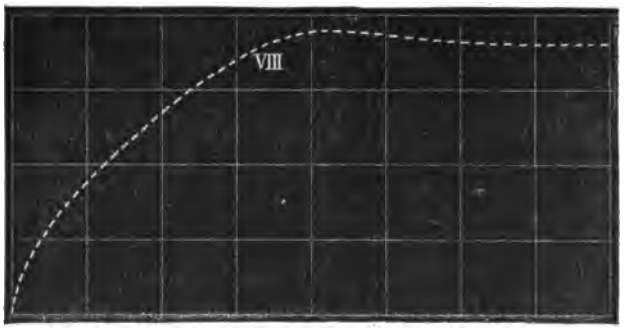

Fig. 14.

tensité du courant est une fonction linéaire de $\frac{v}{R}$. Car si nous mettons :

$$n\frac{v}{R} = a + bI,$$

nous obtenons

$$I = \frac{1}{b}\left(n\frac{v}{R} - a\right) \tag{4}$$

où a représente la vitesse perdue, et $\frac{1}{b}$ le facteur de la proportionnalité, entre I et $\frac{v}{R}$; il résulte pour M

$$M = \frac{1}{n}\frac{I}{\frac{v}{R}} = \frac{I}{a + bI}; \tag{5}$$

TABLEAU IV. — ENROULEMENT I.

v TOURS.	I COURANT PRIMAIRE.	E FORCE ÉLECTRO-MOTRICE.	$M = \frac{E}{nv}$ MAGNÉTISME ACTIF.
164	4,91	11,80	0,000 243
200	10,30	19,30	0,000 333
202	8,78	18,80	0,000 323
303	13,70	41,90	0,000 483
296	16,80	44,60	0,000 524
288	18,80	47,30	0,000 569
405	28,10	77,90	0,000 667
420	26,00	78,50	0,000 649
430	24,40	78,50	0,000 635
415	21,20	71,80	0,000 601
440	12,80	56,40	0,000 444
506	15,50	72,50	0,000 497
503	17,60	77,90	0,000 538
494	21,20	83,90	0,000 590
485	24,80	88,40	0,000 632
498	28,70	95,30	0,000 663
486	33,80	97,30	0,000 694
488	33,60	98,70	0,000 701
486	33,30	94,00	0,000 670
492	34,10	95,30	0,000 674
550	40,00	114,00	0,000 719
587	43,60	122,00	0,000 722
578	42,10	121,00	0,000 726
570	41,10	115,00	0,000 698
610	32,50	121,00	0,000 691
625	26,60	122,00	0,000 677
634	27,80	119,00	0,000 653
595	20,70	99,30	0,000 580
708	24,80	127,00	0,000 625
680	30,50	130,00	0,000 663
680	34,10	134,00	0,000 681
698	39,00	144,00	0,000 715
760	45,40	162,00	0,000 740
808	47,00	175,00	0,000 750
828	48,00	178,00	0,000 747
804	47,00	170,00	0,000 733
830	42,30	175,00	0,000 729
792	33,00	153,00	0,000 691
806	31,00	152,00	0,000 656
832	25,30	149,00	0,000 622
790	19,10	121,00	0,000 531

ici $\frac{1}{a}$ est le facteur de la proportionnalité initiale entre M et I, et $\frac{1}{b}$ la valeur maximum du magnétisme actif.

Les courbes trouvées pour le magnétisme actif, et que nous venons de donner, prouvent que le maximum, si préjudiciable au fonctionnement des machines, arrive relativement assez tôt pour les types dont nous nous sommes occupés ; il s'agissait donc de démontrer la cause de l'arrivée hâtive de ce maximum.

TABLEAU V. — ENROULEMENT II.

v TOURS.	I COURANT PRIMAIRE.	E FORCE ÉLECTROMOTRICE.	$M = \frac{E}{nv}$ MAGNÉTISME ACTIF.
205	13,40	32,00	0,000 542
193	19,00	36,00	0,000 649
192	27,70	40,00	0,000 722
202	30,80	45,00	0,000 774
403	13,80	70,40	0,000 608
400	18,90	78,00	0,000 677
399	27,60	86,00	0,000 750
399	30,80	88,60	0,000 771
823	13,80	151,20	0,000 635
816	18,90	158,00	0,000 674

TABLEAU VI. — ENROULEMENT III.

v TOURS.	I COURANT PRIMAIRE.	E FORCE ÉLECTROMOTRICE.	$M = \frac{E}{nv}$ MAGNÉTISME ACTIF.
246	12,60	230,00	0,000 721
237	11,00	215,00	0,000 700
240	9,00	209,00	0,000 672
236	7,50	193,00	0,000 631
232	5,30	163,00	0,000 542
265	3,95	159,00	0,000 463
256	2,40	105,00	0,000 316
254	1,75	66,70	0,000 203

On pouvait supposer que la principale cause résultait de l'action magnétisante du courant passant sur les fils de l'anneau. Cette influence agit en effet contre la force magnétique des électro-aimants, et, sous cette action, l'axe magnétique de l'anneau se trouve dévié et la force électromotrice affaiblie ; il en résulte, en somme, que le magnétisme actif est diminué : le maximum doit donc être atteint par ce dernier plus rapidement que sous cette influence.

Pour séparer l'une de l'autre ces *deux causes du magnétisme actif* qui se contrarient : *force magnétisante de l'enveloppe des électro-aimants* et *force magnétisante des fils de l'anneau*, le courant d'une deuxième machine dynamique

fut dirigé dans les fils des électro-aimants, l'anneau, dont les extrémités étaient en communication avec une forte résistance, fut mis en mouvement, et la différence de potentiel qui se produisit à ses extrémités fut mesurée au moyen de l'instrument appelé *galvanomètre de torsion* (voir *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1880, juin). Le frotteur fut ramené au maximum de différence de tension, et se trouva dans la position qui lui est naturelle, c'est-à-dire vis-à-vis les deux points neutres de l'anneau.

On obtint le magnétisme actif en divisant la force électromotrice ou la différence de potentiel aux pôles par le nombre de tours du fil enroulé sur l'anneau et par le nombre de tours de la machine par minute.

Ces expériences, faites pour les différents enroulements des électro-aimants donnent les résultats consignés dans les tableaux IV, V, VI et représentés par les courbes IX, X, XI (figure 15).

Fig. 15.

L'exactitude de ces résultats ressort suffisamment de la formule d'interpolation (5).

Nous les réunissons ici, en désignant par M le magnétisme actif *avec* courant dans l'anneau, et par M′ le magnétisme *sans* courant dans l'anneau. Pour l'enroulement I, nous donnons d'abord pour M une formule d'interpolation qui détermine exactement le magnétisme actif dans tout le cours de sa marche (le commencement excepté, mais le mouvement initial n'a pas d'importance pour la pratique).

ENROULEMENT I.	ENROULEMENT II.	ENROULEMENT III.
$M = \frac{I}{26600 + 367\,I + 14{,}3\,I^2}$; Pour $20 < I < 50$: $M = \frac{I}{8070 + 1440\,I}$; $M_{max.} = 0{,}000694$; $M' = \frac{I}{14400 + 1040\,I}$; $M'_{max.} = 0{,}000962$.	$M = \frac{I}{5180 + 1310\,I}$; $M_{max.} = 0{,}000763$; $M' = \frac{I}{9100 + 1010\,I}$; $M'_{max.} = 0{,}000990$.	$M = \frac{I}{3200 + 1380\,I}$; $M_{max.} = 0{,}000725$; $M' = \frac{I}{5100 + 930\,I}$; $M'_{max.} = 0{,}001080$.

Par ce tableau on voit clairement combien l'influence du courant dans l'anneau abaisse le maximum (d'un quart à peu près, dans les trois enroulements). Les coefficients *b* qui désignent le maximum dans les trois enroulements diffèrent peu (ceux désignant le magnétisme, sans courant dans l'anneau, doivent être absolument égaux) ; tandis que les coefficients *a*, dont la valeur

réciproque exprime la force magnétisante de l'enroulement, accusent des différences notables.

On peut également profiter de ces résultats pour déterminer la loi de *l'influence du courant de l'anneau sur le magnétisme actif*, du moins approximativement.

Cette action est égale à la différence M′ — M ; elle est proportionnelle au nombre n des tours de fil de l'anneau ; elle s'augmente quand l'intensité du courant augmente, mais diminue quand le magnétisme M′ s'accroît.

Posons

$$M' - M = n\gamma \frac{I}{M'};$$

et comme nous avons pour M′ :

$$M' = \frac{I}{a' + b'I};$$

nous avons

$$M' - M = n\gamma (a' + b' I)$$

et

$$M = \frac{I}{a' + b'I} - n\gamma (a' + b'I) \tag{6}$$

Nous avons comparé ces formules avec les formules d'interpolation données plus haut, et les résultats d'autres expériences, dans lesquelles les électro-aimants étaient disposés en quantité, de sorte que le courant était une fois plus intense dans l'anneau que dans les électro-aimants, et nous avons trouvé une concordance satisfaisante ; la valeur de γ est dans ce cas $\frac{2}{3} \times 10^{-11}$.

Ces expériences donnent également les moyens de déterminer *l'influence de l'enroulement des électro-aimants sur le magnétisme actif.*

Des deux coefficients de notre formule d'interpolation pour M′, l'un, b', indépendant de l'enroulement des électro-aimants, puisque $\frac{1}{b'}$ indique le maximum de magnétisme qui doit finalement se produire par n'importe quel enroulement ; l'autre, au contraire, a', facteur réciproque de la proportionnalité initiale entre le courant et le magnétisme, est essentiellement dépendant de l'enroulement, aussi bien du nombre de spires des fils que de la distance qui les sépare du fer.

Des expériences faites avec les trois différents enroulements, il résulte donc que a', dont je propose d'appeler la valeur réciproque $\frac{1}{a'}$ la force de l'enroulement, ne dépend que du *nombre des tours* du fil et *nullement de son diamètre* ou de la distance des spires au noyau de fer. Naturellement, ce que nous disons ne s'applique, pour le moment, qu'aux électro-aimants de la machine de MM. Siemens et Halske.

Il en résulte que

$$a = \frac{\alpha}{m^q},$$

où m représente le nombre de tours de fil dans les électro-aimants, α et q des coefficients.

Les expériences donnent

$$\alpha = 126\,000,\ q = 0{,}729.$$

Nous avons donc, comme résultat final, pour le magnétisme actif de notre machine, la formule :

$$(7) \qquad M = \frac{I}{\frac{\alpha}{m^q} + b'I} - n\gamma\left(\frac{\alpha}{m^q} + b'I\right)$$

Cette formule permet de *calculer d'avance le magnétisme actif, quel que soit l'enroulement donné à la machine* dont nous venons de nous occuper.

4° *L'énergie de la machine dynamo-électrique.*

D'après la loi de Joule, l'énergie de cette machine est, par seconde,

$$A = cI^2W = cIE,$$

ou $c = 0.00181$, d'après Kohlrausch, en exprimant l'énergie en chevaux-vapeur, la force électromotrice en Daniell, les résistances en unités Siemens, les intensités de courant en $\frac{\text{Daniell}}{\text{U. S.}}$.

Le tableau VII, qui suit, représente une série d'expériences dans lesquelles l'énergie a été mesurée directement au moyen du *dynamomètre* de M. de Hefner-Alteneck.

TABLEAU VII. — ENROULEMENT I.

v TOURS.	R RÉSISTANCE TOTALE.	I INTENSITÉ du COURANT.	E FORCE ÉLECTRO-MOTRICE.	ÉNERGIE (OBSERVÉE).	c. I. E	c'. I. E. $+ p$ E².
129	»	14,5	13,6	0,21	0,357	0,34
141	»	20,5	18,2	0,62	0,675	0,64
167	»	29,4	24,9	1,27	1,320	1,25
180	»	32,5	28,7	1,60	1,690	1,59
200	»	37,7	34,8	2,27	2,370	2,25
250	»	46,4	42,1	3,57	3,540	3,34
298	»	53,7	47,7	4,74	4,640	4,39
350	»	59,9	53,3	6,09	5,780	5,46
393	»	65,6	62,3	7,36	7,400	7,01
401	»	66,8	62,4	7,65	7,540	7,14
450	»	72,8	69,2	9,26	9,120	8,64
489	»	74,4	71,8	10,42	9,670	9,17
168	1,35	17,3	22,4	0,63	0,700	0,74
216	»	23,5	31,1	1,33	1,320	1,40
247	»	27,9	36,9	1,89	1,860	1,97
302	»	36,5	49,3	3,21	3,260	3,44
351	»	42,8	58,1	4,37	4,500	4,76
401	»	48,0	66,3	5,53	5,760	6,11
449	»	52,3	73,4	6,82	6,950	7,37
508	»	57,2	82,3	8,39	8,520	9,35

L'énergie de la machine marchant à vide en a été déduite.

Dans les deux dernières colonnes les énergies sont théoriquement calculées ; dans l'avant-dernière le calcul est fait d'après la loi de Joule ; aux chiffres de la dernière a été ajoutée une correction, provenant de la loi dite loi de Foucault ou des courants d'induction de l'anneau. En effet, si l'on tient compte de ces courants, on obtient

$$A = cIE + pE^2 \tag{8}$$

et les expériences sur la transmission des forces montrent qu'ici p a la valeur de 0,00009, et que, en outre, pour bien faire comprendre ces expériences, il est nécessaire d'abaisser la valeur de c de 0,00181 à $0{,}00163 = c'$.

Bien que les valeurs de l'énergie contenues dans l'avant-dernière colonne concordent mieux avec les observations que celles de la dernière, nous croyons pourtant que la dernière manière de calculer est plus exacte : elle a l'avantage d'être basée sur des expériences beaucoup plus nombreuses et pour la plupart plus soigneusement exécutées.

II. — De la transmission de l'énergie par l'électricité.

Il y a transmission de l'énergie par l'électricité, lorsque le courant d'une machine dynamo-électrique, machine primaire, est conduit dans une deuxième machine dynamo-électrique, machine secondaire ; l'anneau de cette deuxième entre en rotation dans un sens opposé et produit un travail.

En supposant que, dans les deux machines, le frotteur ait la même position, l'intensité du courant étant la même dans l'une et dans l'autre, le magnétisme actif doit avoir la même force dans l'une et dans l'autre. Dans cette supposition on obtient les formules suivantes (l'indication 1 se rapporte à la machine primaire, 2 à la machine secondaire, E désigne la force électromotrice, I l'intensité du courant, R la résistance totale, M le magnétisme actif, v le nombre de tours, n le nombre des tours de fil de l'anneau, A l'énergie, S la chaleur développée par le courant dans tout le circuit, N le rapport de l'énergie produite à l'énergie absorbée),

$$E_1 = nMv_1 \ , \ E_2 = nMv_2 ;$$

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R} = nM\frac{v_1 - v_2}{R},$$

$$A_1 = cE_1 I = cI^2 R\frac{v_1}{v_1 - v_2}, \quad A_2 = cE_2 I = cI^2 R\frac{v_2}{v_1 - v_2},$$

$$S = cI^2 R,$$

$$A_1 = S + A_2,$$

$$N = \frac{A_2}{A_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{E_2}{E_1}.$$

Si l'on compare ces formules avec les observations, on voit qu'il n'y a que très peu de concordance. Cela saute aux yeux surtout pour le rapport des

énergies N. D'après les formules précédentes, il devrait atteindre un chiffre très élevé, presque 90 pour 100 ; car suivant elles, ce rapport serait égal au rapport des vitesses, et la vitesse de la machine secondaire peut s'élever jusqu'à la différence entre la vitesse de la machine primaire et la vitesse perdue, or cette dernière n'est qu'une petite partie de la première, surtout pour de grandes vitesses.

En réalité, le rapport des énergies n'atteint que 40 à 60 pour 100, et, v_1 étant constant, atteint un maximum pour une certaine valeur de v_2, ce qui ne s'accorde pas avec la formule précédente.

On trouve, en outre, surtout pour le *travail accompli* A_2, qu'il est en réalité *moindre*, et que, au contraire, la force *électromotrice secondaire* E_2 est *plus grande* qu'elle ne devrait l'être d'après la théorie précédente. Et ce phénomène a d'autant plus d'importance que le travail accompli est moindre. Cette anomalie s'explique par les *courants de Foucault*, c'est-à-dire les courants d'induction qui se produisent dans le fer de l'anneau.

La principale cause de ces courants est dans l'action que le magnétisme des électro-aimants exerce sur le noyau de fer de l'anneau ; par suite de la rotation, des courants doivent s'établir dans ce fer de la même manière que dans les fils de cuivre.

Dans la machine *primaire*, ces courants d'induction ont *la même direction* que ceux des fils de l'anneau ; ils *affaiblissent* comme ceux-ci le *magnétisme actif* et la *force électromotrice* E_1, et *augmentent* l'*énergie absorbée* A_1.

Dans la machine *secondaire*, dont l'anneau tourne en sens inverse, ces courants d'induction sont *opposés* aux courants normaux : ils *renforcent* donc le *magnétisme actif*, et la *force électromotrice* E_2 et *diminuent* l'*énergie produite* A_2.

Nous admettons d'abord que les frotteurs occupent, dans les deux machines, la même position. Alors si i_1, i_2 représentent les courants induits dans le fer de l'anneau, u la résistance du circuit de ces courants, M_1, M_2 les magnétismes respectifs, on a, en première approximation :

$$M_1 = M - \varepsilon i_1,\ M_2 = M + \varepsilon i_2,$$

$$i_1 = \frac{M_1 v_1}{u} = \frac{1}{n}\frac{E_1}{u},\quad i_2 = \frac{M_2 v_2}{u} = \frac{1}{n}\frac{E_2}{u};$$

Dans cette formule, M représente le magnétisme actif qui existerait dans le fer, si les courants d'induction n'y étaient pas, ε un coefficient dépendant uniquement des parties de fer employées dans la construction de la machine.

Si l'on admet $\frac{\varepsilon}{u} = \eta$, on aura :

$$M_1 = M\,(1 - \eta v_1)\,,\quad M_2 = M\,(1 + \eta v_2) \tag{9}$$

de plus

$$E_1 = nM_1 v_1 = nM\,(1 - \eta v_1)\,v_1,\quad E_2 = nM_2 v_2 = nM\,(1 + \eta v_2)\,v_2 \tag{10}$$

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R} = \frac{nM}{R}\left\{v_1 - v_2 - \eta\,(v_1^2 + v_2^2)\right\}. \tag{11}$$

TABLEAU VIII.

NUMÉROS	v_1	v_2	E_1	E_2	I $\frac{E_1 - E_2}{R}$	VALEURS DE A_1 Observées	VALEURS DE A_1 Déduites de E_1, E_2, I	VALEURS DE A_2 Observées	VALEURS DE A_2 Déduites de E_1, E_2, I	VALEURS DE N Observées	VALEURS DE N Déduites de E_1, E_2, I	R
			Dan.	Dan.	Dan. / U. S.	HP	HP	HP	HP			E
64	702	511	106,0	72,4	28,1 *24,7*	»	*5,85*	3,00	*2,85*	»	*49°°*	1,33
65	713	440	111,0	60,6	38,1 *38,1*	»	*7,98*	3,44	*3,43*	»	*43*	»
66	695	351	110,0	54,2	40,5 *41,8*	»	*8,35*	3,43	*3,48*	»	*42*	»
67	697	217	104,0	30,7	51,2 *54,5*	»	*9,65*	2,55	*2,47*	»	*26*	»
68	812	514	124,0	75,9	36,0 *35,8*	»	*8,66*	4,02	*3,93*	»	*45*	»
69	800	406	121,0	66,9	38,8 *40,3*	»	*8,97*	3,97	*3,83*	»	*43*	»
70	789	412	133,0	73,4	43,0 *44,7*	»	*10,90*	4,84	*4,67*	»	*43*	»
71	916	531	142,0	101,0	29,6 *29,6*	»	*8,67*	4,15	*3,95*	»	*46*	1,38
72	907	496	134,0	73,0	43,1 *44,4*	»	*11,00*	4,85	*4,65*	»	*42*	»
73	894	526	151,0	80,7	51,3 *51,2*	»	*14,70*	6,17	*6,86*	»	*42*	»
74	893	407	144,0	61,4	57,3 *59,6*	»	*15,40*	5,57	*5,40*	»	*35*	»
75	996	718	171,0	113,0	40,5 *41,4*	»	*13,90*	7,02	*6,31*	»	*45*	1,40
76	998	631	167,0	91,2	51,9 *54,4*	»	*16,60*	7,40	*6,97*	»	*42*	»
77	1019	541	166,0	86,0	55,9 *57,3*	»	*17,60*	7,41	*7,17*	»	*41*	»
78	998	461	164,0	79,8	57,3 *60,3*	»	*17,70*	7,21	*6,88*	»	*39*	»
50	494	225	64,2	33,5	18,8 *16,8*	2,29	*2,33*	0,88	*0,93*	38°°	*40*	1,88
51	501	188	70,5	30,1	24,0 *22,0*	3,18	*3,21*	1,10	*1,10*	35	*34*	»
53	504	149	81,7	27,2	30,8 *28,8*	4,59	*4,70*	1,17	*1,30*	25	*28*	»
54	607	317	79,9	47,3	18,6 *17,8*	2,82	*2,99*	1,24	*1,23*	44	*41*	»
55	594	257	85,9	45,0	23,7 *22,3*	3,87	*3,98*	1,51	*1,56*	39	*39*	»
56	604	244	94,1	40,7	29,6 *29,1*	5,10	*5,34*	1,91	*1,81*	37	*34*	»
57	623	223	98,3	36,9	34,9 *33,5*	6,35	*6,46*	2,18	*1,98*	34	*31*	»
58	600	161	97,0	25,8	37,1 *38,8*	6,58	*6,72*	1,89	*1,50*	29	*22*	»
59	712	380	93,2	59,7	19,0 *18,3*	3,93	*3,67*	1,49	*1,52*	38	*41*	»
60	707	358	104,0	59,7	24,5 *23,3*	4,34	*5,12*	2,10	*2,07*	48	*40*	»
61	707	327	109,0	57,4	28,7 *28,4*	5,39	*6,13*	2,56	*2,46*	47	*40*	»
62	695	266	109,0	46,4	34,6 *34,3*	7,04	*7,22*	2,60	*2,43*	37	*34*	»
63	700	216	110,0	40,9	38,1 *37,5*	7,98	*7,92*	2,65	*2,39*	33	*38*	»
79	702	384	112,0	51,5	31,2 *32,0*	»	*6,83*	2,26	*2,38*	»	*35*	»
80	702	311	117,0	45,1	37,1 *38,1*	»	*8,33*	2,43	*2,55*	»	*31*	»
81	700	260	121,0	44,5	38,7 *40,3*	»	*8,94*	2,54	*2,63*	»	*29*	»
82	800	392	127,0	66,6	30,8 *30,6*	»	*7,83*	3,07	*2,94*	»	*38*	1,97
83	791	327	131,0	62,0	35,0 *35,0*	»	*9,03*	3,20	*3,19*	»	*35*	»
84	799	281	135,0	55,2	40,7 *40,4*	»	*10,60*	3,30	*3,39*	»	*32*	»
85	904	485	143,0	79,8	32,4 *31,2*	»	*9,39*	3,79	*3,74*	»	*40*	2,01
86	892	414	148,0	73,1	37,1 *37,0*	»	*10,92*	4,05	*3,95*	»	*36*	»
87	894	364	153,0	71,2	40,7 *40,6*	»	*12,40*	4,25	*4,26*	»	*34*	»
88	892	280	151,0	50,0	49,3 *50,2*	»	*14,20*	3,83	*3,79*	»	*27*	»
89	990	530	167,0	94,2	36,3 *35,8*	»	*12,40*	5,08	*4,77*	»	*38*	2,08
90	1005	462	169,0	78,0	45,0 *44,8*	»	*15,00*	5,42	*5,17*	»	*34*	»
91	992	357	168,0	62,4	50,5 *51,7*	»	*16,30*	4,88	*4,79*	»	*29*	»
92	992	288	167,0	56,8	54,3 *54,2*	»	*17,30*	4,50	*4,74*	»	*27*	»

NUMÉROS	v_1	v_2	E_1	E_2	I $\frac{E_1 - E_2}{E}$	VALEURS DE A_1 Observées	VALEURS DE A_1 Déduites de E_1, E_2, I	VALEURS DE A_2 Observées	VALEURS DE A_2 Déduites de E_1, E_2, I	VALEURS DE N Observées	VALEURS DE N Déduites de E_1, E_2, I	R
			Dan.	Dan.	Dan. / U. S.	HP	HP	HP	HP			E
24	507	312	68,0	49,7	19,3 *20,0*	2,58	*2,56*	1,22	*1,34*	47 ⁰/₀	52 ⁰/₀	0,92
25	499	286	73,3	50,4	24,2 *25,0*	3,48	*3,37*	1,68	*1,76*	48	*52*	»
26	502	284	77,5	50,5	29,6 *29,5*	4,26	*4,27*	2,22	*2,21*	52	*52*	»
27	506	252	78,3	47,4	34,8 *33,7*	5,14	*4,99*	2,46	*2,50*	48	*50*	»
28	509	230	80,2	42,6	40,2 *41,1*	6,04	*5,84*	2,70	*2,63*	45	*45*	»
29	490	185	75,3	34,4	44,3 *44,5*	6,51	*5,95*	2,53	*2,38*	39	*40*	»
30	521	0	64,9	0,0	81,7 *70,8*	12,30	*9,00*	0,0	*0,00*	0	*0*	»
31	589	385	76,0	62,0	19,3 *15,3*	2,83	*2,92*	1,50	*1,60*	53	*55*	»
32	600	337	88,4	65,3	25,2 *25,1*	4,17	*4,33*	1,93	*2,38*	47	*55*	»
49	603	399	93,1	66,4	30,2 *35,7*	5,22	*5,37*	3,12	*2,87*	60	*54*	»
48	605	343	94,7	65,9	33,7 *31,4*	6,01	*6,01*	3,35	*3,23*	56	*54*	»
93	805	554	123,0	89,4	39,1 *38,7*	»	*9,38*	5,42	*4,98*	»	*53*	»
94	810	574	138,0	97,9	43,0 *43,0*	»	*11,40*	6,63	*6,00*	»	*53*	»
95	801	485	138,0	91,8	47,3 *50,0*	»	*12,40*	6,62	*6,32*	»	*51*	»
96	890	672	154,0	106,0	49,6 *51,5*	»	*14,60*	7,88	*7,77*	»	*53*	»
97	902	633	154,0	101,0	51,8 *57,8*	»	*15,10*	8,66	*7,61*	»	*50*	»
98	910	524	152,0	100,0	52,8 *56,1*	»	*15,20*	8,19	*7,71*	»	*51*	»
99	993	803	170,0	132,0	39,9 *40,7*	»	*13,70*	7,77	*7,02*	»	*51*	»
100	994	720	169,0	128,0	43,5 *44,3*	»	*14,60*	8,44	*7,61*	»	*52*	»
101	998	684	168,0	113,0	50,5 *60,2*	»	*16,30*	9,36	*8,15*	»	*50*	»
102	994	623	164,0	109,0	55,6 *59,1*	»	*17,30*	9,74	*8,81*	»	*51*	»
103	1013	537	161,0	105,0	59,5 *60,6*	»	*17,90*	9,44	*9,20*	»	*51*	»
6	501	358	57,2	37,0	15,1 *15,1*	1,70	*1,70*	0,70	*0,79*	41	*46*	1,38
7	505	298	67,7	41,5	19,6 *19,6*	2,68	*2,57*	1,16	*1,17*	44	*46*	»
2	490	269	73,3	38,3	26,1 *26,2*	3,61	*3,60*	1,58	*1,50*	44	*42*	»
3	478	201	73,0	32,3	30,4 *30,5*	4,21	*4,11*	1,57	*1,52*	37	*37*	»
4	497	171	76,6	30,2	34,6 *34,8*	4,93	*4,85*	1,67	*1,63*	34	*34*	»
5	522	158	81,7	25,3	42,1 *42,3*	6,54	*6,21*	1,85	*1,68*	28	*27*	»
8	594	452	66,0	45,8	15,1 *15,1*	1,99	*2,01*	0,88	*0,94*	44	*47*	»
9	600	357	81,4	54,8	19,9 *19,9*	3,22	*3,24*	1,40	*1,50*	43	*46*	»
10	570	355	86,9	50,7	27,0 *27,1*	4,48	*4,51*	2,06	*2,00*	47	*44*	»
11	618	321	95,5	56,6	29,8 *29,9*	5,24	*5,53*	2,51	*2,46*	48	*45*	»
12	606	271	95,6	49,0	34,8 *34,9*	6,14	*6,24*	2,65	*2,56*	43	*41*	»
13	611	220	93,4	42,3	39,6 *39,9*	7,10	*6,98*	2,58	*2,57*	36	*37*	»
14	603	193	95,7	36,5	44,2 *44,4*	7,78	*7,72*	2,61	*2,51*	34	*33*	»
15	620	175	98,2	33,3	48,5 *48,7*	8,80	*8,63*	2,74	*2,53*	31	*29*	»
16	540	0	85,7	0,0	64,0 *64,3*	9,88	»	0,00	»	0	»	»
17	787	464	97,8	73,3	18,3 *18,4*	4,27	*3,68*	1,81	*1,71*	43	*46*	»
18	718	409	106,0	74,2	24,0 *24,1*	5,03	*5,15*	2,40	*2,40*	43	*47*	»
19	727	392	113,0	74,8	28,3 *28,5*	6,18	*6,36*	3,06	*2,95*	50	*46*	»
20	730	367	115,0	70,0	33,7 *33,9*	7,30	*7,51*	3,59	*3,40*	49	*46*	»
21	727	328	113,0	62,5	37,9 *38,0*	8,49	*8,12*	3,85	*3,64*	45	*45*	»
22	705	272	114,0	55,3	44,0 *44,2*	9,22	*9,34*	3,72	*3,68*	40	*39*	»
23	693	220	110,0	44,3	49,1 *49,3*	10,12	*10,87*	3,44	*3,47*	34	*32*	»

Pour les énergies, on a

$$A_1 = cnIM_1v_1 + ci_1M_1v_1,\ A_2 = cnIM_2v_2 - ci_2M_2v_2,$$

ou bien, si nous prenons $\frac{c}{n^2u} = p$,

$$(12)\quad \left\{\begin{array}{c} A_1 = cIE_1 + pE_1^2,\ A_2 = cIE_2 - pE_2^2 \\ N = \frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1}\left\{1 - \frac{p}{cI}(E_1 + E_2)\right\} \\ S = cI(E_1 - E_2),\ F_1 = pE_1^2,\ F_2 = pE_2^2, \\ A_1 = A_2 + S + F_1 + F_2\,; \end{array}\right.$$

S indique la chaleur du courant, F_1, F_2 l'énergie des courants Foucault.

En exprimant toutes ces grandeurs par I, R, v_1, v_2 on obtient :

$$(13)\quad \left\{\begin{array}{l} A_1 = cI^2R\frac{v_1}{v_1 - v_2}\left\{1 + \eta v_2\frac{v_1 + v_2}{v_1 - v_2} + \frac{pR}{c}\frac{v_1}{v_1 - v_2}\right\} \\ A_2 = cI^2R\frac{v_2}{v_1 - v_2}\left\{1 + \eta v_1\frac{v_1 + v_2}{v_1 - v_2} - \frac{pR}{c}\frac{v_2}{v_1 - v_2}\right\}, \\ N = \frac{v_2}{v_1}\left\{1 + \eta(v_1 + v_2) - \frac{pR}{c}\frac{v_1 + v_2}{v_1 - v_2}\right\}, \\ S = cI^2R\,;\ F_1 = pI^2R^2\frac{v_1^2}{v_1 - v_2},\ F_2 = pI^2R^2\frac{v_2^2}{v_1 - v_2}. \end{array}\right.$$

Les formules (12) sont tout particulièrement importantes pour la pratique. Elles permettent de déterminer avec sûreté les *énergies* au moyen des *grandeurs électriques* E_1, E_2, I, faciles à déterminer ; elles s'appliquent à *toute position des frotteurs*, à *toute machine dynamique*, quelles que soient sa construction et ses dimensions, ainsi qu'on peut s'en assurer facilement en répétant les considérations qui précèdent, tout en changeant à volonté la position des deux frotteurs.

Avec la formule 13 on peut déterminer les *énergies* par *l'intensité du courant*, la *résistance* et les *nombres de tours*, mais il faut pour cela que les frotteurs aient une position identique.

Les expériences notées sur le tableau VII ont été faites avec deux machines D_0 (enroulement I).

Les mesures de l'énergie ont été prises, sur la machine primaire, à l'aide d'un dynamomètre de Hefner, sur la secondaire, au moyen du frein de Prony. Relativement aux grandeurs électriques on mesurait l'intensité du courant avec un électro-dynamomètre, et les différences de tension aux rhéophores des deux machines au moyen du galvanomètre de torsion. De ces trois grandeurs l'une qui est la conséquence des deux autres, donne un contrôle de l'exactitude des mesures. De cette différence de tension on peut facilement calculer, en ajoutant une correction, la force électromotrice de la machine. Ce contrôle s'obtient plus sûrement en calculant la grandeur $\frac{E_1 - E_2}{R}$ par les forces électromotrices tirées des différences de tension, et en la comparant avec l'intensité du courant I observée. (Voir la colonne 6 du tableau VIII).

Les balais des deux machines avaient été disposés de sorte que les *forces*

électromotrices atteignaient le *maximum* : une série d'expériences particulières avait établi que cette position des balais permettait seule d'obtenir le maximum du rapport des énergies.

Chacune des expériences faites avec les deux machines est une moyenne d'au moins deux expériences ; toutes les mesures étaient prises *en même temps*, de sorte qu'il était nécessaire d'employer six observateurs.

Les constantes η et p, dépendantes des courants Foucault, avaient été tirées des expériences dans lesquelles toutes les grandeurs avaient été mesurées, ce qui n'est pas le cas pour les expériences où le nombre des tours est très élevé ; l'énergie primaire n'ayant pu être mesurée dans ces dernières, on détermina η d'après les forces électromotrices, p d'après les énergies.

Valeurs trouvées pour η et p :

$$\eta = 0{,}00014,\ p = \frac{7{,}5}{n^2}.$$

Il fut constaté, en outre, que la valeur de c (0,00181), donnée par Kohlrausch doit être abaissée pour donner au calcul toute l'exactitude possible. Nous avons donc adopté la valeur $c' = 0{,}00163$. Nous ne voulons pas prétendre par cela que la valeur de Kohlrausch soit théoriquement inexacte ; il est possible que cet écart ait sa cause dans un phénomène secondaire encore non observé. Le calcul des énergies, d'après les grandeurs électriques, a été fait selon les formules (12).

L'accord entre la théorie et les résultats des expériences dont nous venons de nous occuper doit être regardé comme satisfaisant.

ANNEXE III

COMMUNICATION DE M. GUSTAVE CABANELLAS

Messieurs, je vais avoir l'honneur de poser et de prouver les principes qui dominent l'*ensemble du problème du transport et de la distribution de l'Énergie par voie électrique et leur organisation automatique rationnelle.*

Je pense que lorsque j'aurai terminé la présente communication, que je crois très importante et pour laquelle je ne demande qu'une attention un peu soutenue, j'aurai fait partager l'opinion, qui peut paraître hardie de prime-abord, que cette question du transport et de la distribution de l'Énergie sous toutes formes, tout nombre, toute qualité, est mûre et s'imposera nécessairement dans un avenir prochain.

Quand je serai forcé de rectifier des résultats de travaux antérieurs, j'entendrai expressément n'agir que dans l'intérêt du sujet et conserver dans leur entier le haut respect ou la grande considération qui sont dus à leurs auteurs.

Il est évident, au point de vue, non pas de la *distribution*, mais du *transport* électro-dynamique de l'Énergie, que la question des rendements des machines électriques occupe la première place ; cette question a déjà été abordée et traitée par plusieurs savants d'une grande valeur, et pourtant il est facile de prouver que la clarté complète et l'aveu unanime n'existent pas. Je vais le faire rapidement par deux exemples ; ensuite, j'aurai à indiquer le plus brièvement possible la méthode analytique, puis synthétique, qui m'a permis d'établir ce côté du sujet sur des bases tellement évidentes et tellement nettes que ces points de vue nouveaux seront sans doute jugés dignes d'être utilisés classiquement. J'espère être *trop clair*, selon la *fine expression* d'un savant bienveillant que vous appréciez tous, qui est présent à cette séance (je ne le nomme pas, car toute manifestation publique est un effroi pour sa modestie), telle a été sa critique après examen de mon mémoire ; il dit qu'un auteur a complètement traité une question, lorsqu'il l'a élucidée jusqu'à ce qu'il appelle *la clarté de l'ingratitude*, degré qui est atteint quand, à la suite des travaux de cet auteur, *chacun ayant tout à fait et définitivement compris*, certaines personnes aiment à se prouver et à prouver aux autres qu'il en a toujours été ainsi. Pour moi, je souhaite que cette prophétie se réalise, car ce que je poursuis, c'est seulement la réussite de l'idée, c'est le fait de sa réalisation secrète.

Même parmi les électriciens, on rencontre l'opinion que beaucoup trop d'éléments font défaut pour aborder utilement le problème, ou au contraire l'opinion que tout est clair, élucidé, et qu'il n'y a plus rien à dire, chacun sachant parfaitement tout ce qui est possible et comment il faut appliquer. Mes solutions répondront à la première opinion.

Les deux exemples dont j'ai parlé ont pour but de prouver, *sans contestation possible*, qu'au moment où je parle, le champ a besoin d'être cultivé et amendé, qu'il n'est pas superflu d'établir une plate-forme bien nette, base de nos opérations ultérieures. C'est pour cela que j'ai pris ces exemples, tout d'actualité, à un niveau technique que je considère comme fort élevé.

Premier exemple.

L'illustre vice-président du Congrès, sir William Thomson, vient de faire à l'Académie des sciences de Paris une communication qui paraît tendre à prouver que l'excitation, non pas en circuit direct, mais en circuit dérivé, des électros d'une machine employée comme source, permet d'améliorer considérablement son rendement.

Je suis arrivé à une conclusion absolument différente, avant d'avoir eu connaissance de ce travail, et, après lecture, il m'est impossible de changer d'opinion. J'ai d'ailleurs cru devoir aviser personnellement sir William Thomson des résultats auxquels j'avais été conduit, et solliciter son intervention dans la discussion de cette importante question. J'avais eu l'occasion de voir sir William Thomson pour lui soumettre un travail non encore arrivé au point d'achèvement de celui que je vous présente (sur les relations fort importantes et déjà certaines de l'électricité et des phénomènes, non pas seulement météorologiques accidentels, mais positivement des phénomènes astronomiques les plus permanents).

L'excitation des électros d'une machine-source, en dérivation sur les prises

de courant de l'anneau induit, est connue déjà depuis longtemps ; l'idée appartient, je crois, au grand électricien anglais Wheatstone.

On sait que cette disposition présente, dans certains cas, certains avantages sur l'excitation en circuit direct. Lorsque la résistance extérieure exploitée est sujette à de grandes variations, la combinaison dérivée constitue une sorte de régulation et de protection automatiques ; si la résistance exploitée diminue brusquement, il en résulte une brusque diminution de l'intensité qui anime les électro-aimants, par suite un abaissement de la force du champ magnétique et un affaiblissement de la force électromotrice de la machine ; ainsi, le fil intérieur de l'anneau, comme celui des électros, peut donc être mis à l'abri de la très grande augmentation du calorique développé dans la machine et des risques d'avaries dans l'isolation des fils auxquels sont exposées, dans ces circonstances, les machines à excitation en circuit direct.

Mais cette réserve établie, il serait difficile de comprendre comment un arrangement connu depuis longtemps n'aurait pas encore manifesté les avantages qu'il pourrait avoir comme bonification du rendement d'une source.

En tout cas, je vais démontrer que ces avantages n'existent à aucun degré.

Une machine est caractérisée par les chiffres pratiques de l'intensité maximum qui convient à son fil intérieur et par son allure de régime qui détermine sa force électromotrice ; le raisonnement s'applique à toute autre intensité.

Soit i cette intensité, r la résistance de son anneau, a la résistance du fil inducteur de ses électro-aimants, i' l'intensité de circulation dans le fil inducteur a ; la consommation d'Énergie pour l'excitation des électros est ai'^2 ; cette quantité d'Énergie est constante pour un type donné de machine ou, pour parler d'une façon plus précise, pour une carcasse donnée de machine, quelles que puissent être les grandeurs de a et de i'.

En effet, considérons une valeur quelconque des éléments qui déterminent le champ magnétique des électros : soit a cette valeur de résistance du fil de l'enroulement inducteur et i' cette valeur de l'intensité qui circule dans l'enroulement.

Pour produire le même champ avec tout autre couple quelconque de ces valeurs, il faudra nécessairement que, dans le même volume d'enroulement, l'intensité totale d'une section de ce volume, c'est-à-dire la somme des intensités de chacune des spires sectionnées, soit encore exactement ce qu'elle était, ce qui entraîne la nécessité que le produit de l'intensité qui circule dans une spire, multipliée par le nombre de spires, soit un nombre invariable.

Or, si nous supposons qu'avec un autre couple de ces valeurs, la section s du fil ait été multipliée par un nombre quelconque M plus grand ou plus petit que l'unité, l'intensité employée sera $M\,i'$; le nombre n de spires devient $\frac{n}{M}$; le produit reste bien constamment égal à $n\,i'$.

Si L est la longueur totale du premier enroulement, s sa section, K la résistance de l'unité de longueur de métal conducteur sous l'unité de section, l la longueur de la spire moyenne, on a :

$$L = nl,$$

$$a = \frac{LK}{s} = \frac{nlK}{s}.$$

Mais, puisque n est devenu $\frac{n}{M}$, la longueur totale est devenue $\frac{nl}{M}$, et la résistance est devenue

$$\frac{\frac{n}{M}lK}{Ms} = \frac{nlK}{M^2 s} = \frac{a}{M^2}.$$

Le produit du carré de M i par $\frac{a}{M^2}$ est toujours

$$M^2 \overline{i}^2 \times \frac{a}{M^2} = a i^2,$$

ce qu'il fallait démontrer.

Les exemples numériques sont excellents pour éviter les erreurs et contrôler les raisonnements : prenons la machine Gramme C qui a l'avantage d'avoir été soumise à de sérieuses expériences officielles en Angleterre, et dont les éléments électriques sont par suite connus et peuvent être employés sans contestation ; les données de cette machine étaient :

1,200 tours.
i Circulation, de 81,22 webers.
E Force électromotrice, de 69,9 volts.
r Résistance de l'anneau, 0,06 ohms.
a Résistance des électros, 0,15 ohms.

Pour la machine Gramme C (d'après les expériences officielles de Chatham), nous avons le couple de valeurs $a = 0,15$ et $i = 81,22$; donc $i^2 a = 989,50326$ joulads par seconde. L'anneau d'une machine consomme $i^2 r$; pour la machine Gramme C, $i = 81,22$, $r = 0,06$, $i^2 r = 395,801304$.

La quantité d'Énergie totale dépensée est i E; pour la machine C, $i = 81,22$ $E = 69,9$, $i E = 5677,278$. L'Énergie disponible extérieurement est $i E - \overline{i}^2 a - i^2 r$. Pour la machine C,

$$iE - i^2 r - \overline{i}^2 a = 4291,9734.$$

Donc le rendement individuel de la machine montée en Wheatstone et employée comme source est

$$\frac{iE - i^2 r - \overline{i}^2 a}{iE}.$$

L'orateur applique les formules aux données numériques et arrive identiquement aux mêmes chiffres qu'avec l'excitation en circuit direct, ce qui prouve matériellement la vérité qui rationnellement paraissait nécessaire *a priori*, à savoir que : toutes choses égales d'ailleurs, une machine ne peut avoir qu'un seul coefficient d'utilisation si elle crée elle-même son champ magnétique, quelle que soit la façon dont elle crée ce champ magnétique.

Second exemple.

Un électricien des plus distingués, membre français de ce Congrès, M. Marcel Deprez, nous a exposé dernièrement que le rendement des machines

électriques, au point de vue des transports d'Énergie, était indépendant de la distance, *était indépendant de la résistance* de liaison de la source au récepteur. Comme application de *ce principe nouveau*, il nous a fait le calcul des conditions dans lesquelles, avec deux machines Gramme C, ou, plus exactement, avec deux carcasses de machine Gramme C, convenablement modifiées dans leurs fils, il était possible de garder un rendement de 65 pour 100, malgré une résistance de liaison de 50 kilomètres de fil de fer télégraphique de $0^m,004$ entre la source génératrice et le moteur récepteur, et cela en conservant une importante valeur absolue du travail dépensé à la source et naturellement alors les 65 pour 100 de cette valeur en travail mécanique recueilli sur le moteur récepteur.

Quelques praticiens m'ont fait part des doutes que, d'après leur expérience, leur inspirait le principe séduisant mis en avant par M. Marcel Deprez ; ils m'ont demandé mon opinion sur ce point important. J'ai répondu que je serais forcé de leur donner satisfaction lorsqu'il s'agirait de traiter la question du transport et de la distribution de l'Énergie.

Je vais le faire d'une façon précise et générale, et je donne tout de suite mes conclusions : j'aurais souhaité que le nouveau principe pût être exact, malheureusement il ne l'est pas ; le rendement des machines électriques est toujours absolument dépendant de la distance et de la résistance de liaison qui séparent le moteur récepteur de la source génératrice.

Soit un type de machine destiné, par la section de son fil, à fonctionner à une intensité i, soit E la force électromotrice développée par son anneau à l'allure d'un tour par seconde[1] ; supposons que nous prenions deux machines de ce type et que nous actionnions mécaniquement l'une d'elles à un certain nombre de tours N par seconde, comme source génératrice d'électricité et que le courant produit soit utilisé à faire tourner, au nombre de tours n par seconde, l'autre machine identique qui sera employée comme moteur récepteur de l'Énergie développée dans la source et transportée à travers la résistance de liaison R, qui a pour valeur, $\frac{2lK}{s}$, l étant la distance, s la section et K la résistance du métal conducteur de liaison sous l'unité de longueur et l'unité de section.

Le rendement mécanique de l'ensemble est $\frac{n}{N}$, la dépense de travail par tour de la source et la récolte de travail par tour du moteur est iE joulads.

La dépense d'Énergie par seconde sur la source est NiE joulads, et la récolte sous forme mécanique sur le moteur est, par seconde, niE joulads.

Les forces électromotrices sont pour la source NE, et pour le moteur nE volts.

Après avoir arbitrairement modifié, dans un rapport donné, les sections d'enroulement inducteur et induit du type, ce qui détermine l'intensité i à employer, qui est alors de 1,624 webers, M. Deprez s'arrange pour la faire circuler dans l'ensemble des deux machines et de leur fil de liaison, ce qu'il obtient naturellement en rendant constante la différence des allures de la source et du récepteur quand la résistance totale ne change pas, et ce qu'il obtiendrait en rendant constant le quotient de cette différence divisée par la résistance totale si cette résistance changeait ; puis il règle la grandeur absolue de ces

1. Dans le champ magnétique correspondant à l'intensité de régime i.

deux allures, de façon que leur rapport soit égal au rendement qu'il veut obtenir.

Les deux équations qui permettent de déterminer N et n et de résoudre non seulement l'exemple de M. Deprez, mais tous les petits problèmes de ce genre sont :

$$(\alpha) \qquad \frac{(N - n)\,E}{\rho + R + (\rho - \Delta\rho)} = i$$

et

$$(\beta) \qquad \frac{n}{N} = \frac{P}{100}.$$

ρ étant la résistance intérieure de la machine source à l'allure N, et $\Delta\rho$ la diminution de résistance en passant de l'allure N à l'allure n, ainsi que j'ai montré d'abord que cela était, et donné les moyens d'en chiffrer la valeur, et ainsi que M. Joubert a montré ensuite que cela devait être.

Résolvant, on trouve que les forces électromotrices sont pour la source :

$$NE = \frac{i\,[\rho + R + (\rho - \Delta\rho)]}{1 - \frac{P}{100}} \text{ volts ;}$$

pour le récepteur :

$$nE = \frac{i\,[\rho + R + (\rho - \Delta\rho)]}{\frac{100}{P} - 1} \text{ volts ;}$$

et les travaux mécaniques par seconde sont, pour la source,

$$NiE = \frac{i^2\,[\rho + R + (\rho - \Delta\rho)]}{1 - \frac{P}{100}} \text{ joulads;}$$

pour le récepteur :

$$niE = \frac{i^2\,[\rho + R + (\rho - \Delta\rho)]}{\frac{100}{P} - 1} \text{ joulads.}$$

Supposons qu'il n'y ait aucun inconvénient à réaliser les très grandes allures de M. Deprez, laissons de côté les risques de dislocation d'ordre purement mécanique, pour ne nous occuper que de la force électromotrice.

M. Deprez développe dans son exemple une force électromotrice de 6900 volts dans une carcasse où il y en avait une de 69 seulement ; supposons que cela soit sans inconvénients, supposons même que M. Deprez ait été trop modéré dans son hypothèse et qu'il soit possible de développer dans ladite carcasse une force électromotrice beaucoup plus grande que 6900 volts, il n'en est pas moins certain qu'il y a une limite à cet accroissement de force électromotrice. Appelons ε cette force électromotrice limite ; tant que NE ou $\frac{i[\rho + R + (\rho - \Delta\rho)]}{1 - \frac{P}{100}}$ sera inférieur ou égal à ε nous pourrons garder le même rendement $\frac{P}{100}$

malgré l'emploi de résistances R de plus en plus grandes, avec la même intensité i, la valeur absolue du travail mécanique recueilli sur le récepteur allant aussi en augmentant; mais au delà nous ne le pourrons plus, et alors nous devrons au contraire agir sur la valeur de R par augmentation de section, c'est-à-dire augmenter la dépense de canalisation de telle sorte que nous arrivions à ce que la valeur ci-dessus de NE ne soit plus supérieure à ε et lui soit au plus égale. Il est évident qu'il n'y a pas à songer à modifier les sections d'enroulement du type par accentuation de finesse de ses fils dans le but d'employer un i plus petit, puisque l'hypothèse est que la force électromotrice de la source est déjà à sa limite supérieure.

On voit donc qu'à ce moment il sera faux de croire que la distance et la résistance de liaison entre la source et le récepteur n'altèrent pas la prétendue indépendance du rendement des machines, c'est-à-dire de ce qu'elles peuvent transporter d'Énergie, et du coût de ce transport.

J'ajouterai, pour élucider complètement la question, que, si j'ai suivi pas à pas volontairement l'exemple choisi par M. Deprez dans les conditions où il a jugé à propos de se placer, il me sera facile, en outre, de montrer que, même avant d'arriver aux limites d'allure et de force électromotrice ε de la source, le transport et ses rendements ont payé leur tribut inévitable à la distance et à la résistance de liaison. La croyance contraire s'échafaude sur une apparence prise pour une réalité.

L'artifice *involontaire* de M. Deprez est le suivant : il montre qu'en augmentant convenablement la finesse des fils d'enroulement d'un type, et en augmentant suffisamment l'allure et la force électromotrice lancée par la source, il peut, à travers une résistance de 50 kilomètres de fil de fer de $0^{m},004$, transporter dix chevaux avec un rendement de 65 pour 100; seulement *il oublie* que s'il lui est possible d'employer avec ses 50 kilomètres une force électromotrice de 6900 volts, il est également possible d'employer cette même force électromotrice de 6900 volts avec une résistance extérieure de liaison d'un seul kilomètre par exemple. Mais alors ce n'est plus un rendement de 65 pour 100, mais un rendement de 76 pour 100 qu'on a la faculté d'obtenir avec les mêmes machines.

En effet, la formule donne

$$\frac{P}{100} = 1 - \frac{i\,[\rho + R + (\rho - \Delta\rho)]}{NE}.$$

L'exactitude de cette formule se vérifie en faisant, comme M. Deprez :

$$i = 1.624, \quad \rho + (\rho - \Delta\rho) = 525 \times 2, \quad R = 450, \quad NE = 6900.$$

On trouve :

$$\frac{P}{100} = 65 \text{ pour } 100.$$

Mais si, au lieu de faire R = 450, on fait R = 9 (un seul kilomètre), on trouve :

$$\frac{P}{100} = 76 \text{ pour } 100.$$

Quant à la puissance transportée, elle est généralement, en joulads :

$$\frac{i^2[\rho + R + (\rho - \Delta\rho)]}{\frac{100}{P} - 1}$$

ou en kilogrammètres

$$\frac{i^2[\rho + R + (- \Delta\rho)]}{\frac{100}{P} - 1} \times 0{,}10192.$$

ou, en chevaux-vapeur $\frac{1}{75}$ de cette valeur.

Ce qui, pour P = 65 et R = 450, donne 9,78 chevaux, chiffre qui diffère un peu des dix chevaux indiqués par M. Deprez, parce que M. Deprez a pris 29 kilogrammètres pour travail par tour, tandis que le vrai chiffre est 28,38, ce qui ne fait que 9,78 chevaux pour 1552 tours du récepteur. Si maintenant nous faisons P = 76 et R = 9, nous trouvons plus de 11 chevaux. En résumé, avec la même machine, s'il est possible de transporter 10 chevaux avec un rendement de 65 pour 100 à travers 50 kilomètres de fil télégraphique de 4 millimètres, il est également possible de transporter 11 chevaux avec un rendement de 76 pour 100 à travers un seul kilomètre de ce fil.

J'ai donc nettement prouvé que l'artifice, involontaire sans doute, de l'auteur, a consisté à se donner une faculté qu'il refusait implicitement à tout autre terme de comparaison, et l'on voit, comme cela devait être, qu'en rendant aux deux termes à comparer une égale justice, c'est-à-dire en leur laissant le droit d'agir avec un égal discernement, le rendement, toutes choses égales d'ailleurs, tombe de 76 pour 100 à 65 pour 100, et la puissance absolue transportée tombe de plus de 11 chevaux à moins de 10 chevaux, quand la résistance de liaison de la source au récepteur croît de 1 à 50 kilomètres de fil télégraphique. Ces faits détruisent le principe séduisant, mais inexact, de l'indépendance des rendements des machines électriques, par rapport aux distances.

Après avoir, dans l'intérêt du sujet, intérêt qui doit tout dominer, été forcé de faire justice d'une erreur d'autant plus dangereuse qu'elle a été mise en avant, avec insistance et talent, par M. Deprez, je tiens à répéter que je suis d'ailleurs un des plus sincères appréciateurs de son esprit inventif et de ses profondes ressources cinématiques.

Le travail complet que j'ai l'honneur de présenter au Congrès, et que je résumerai très brièvement, embrasse dans son ensemble toute la grande question qui s'imposera dans un avenir prochain : « Le transport et la distribution industrielle de l'Énergie, par voie électrique. »

Je suis prêt d'ailleurs à entrer dans toutes les explications ou discussions de détail qui seront jugées utiles.

Depuis longtemps déjà, je suis préoccupé de cette question, que quelques personnes, même parmi les électriciens, croient encore trop nouvelle pour qu'on puisse songer à la résoudre, et, après avoir trouvé dans le domaine général ou amassé moi-même successivement les matériaux nécessaires, je suis, aujourd'hui, arrivé à cette conclusion formelle, que la solution est mûre et qu'il n'y a plus qu'à aborder résolument les derniers essais que suivent les grandes applications. C'est pour cela que j'ai le *devoir* d'appuyer par des raisons

déterminantes les propositions d'intérêt général en électricité et en industrie qui sont la conséquence nécessaire du degré d'avancement de la question.

J'ai dit que je comptais être ultérieurement en mesure d'établir que la nature a jugé à propos d'avoir constamment recours à l'électricité (cet agent qu'on trouvait naguère si capricieux), lorsqu'il s'est agi pour elle d'organiser le fonctionnement de phénomènes fort importants et d'une régularité parfaite. C'est même par de premiers jalons posés dans cette voie que j'ai été amené à entreprendre les recherches actuelles.

En tout cas, il est rationnel de croire, dès à présent, que les *transports* d'Énergie par voie électrique doivent être recommandés, parce qu'ils ont toutes raisons d'être supérieurs en portée aux transports basés sur des déplacements matériels continus d'une matière quelconque (gaz ou liquide en pression) du lieu de production aux lieux d'emploi de l'Énergie. Cette supériorité s'affirme *a fortiori* sur les transmissions purement mécaniques.

Comme *distribution* proprement dite, la supériorité naturelle est éclatante ; les propagations électriques se transmettent par acte moléculaire, elles sont infiniment moins matérielles, plus parfaites; la preuve visible est que ces transmissions, malgré la distance, s'effectuent en une durée pratiquement nulle, eu égard aux exigences humaines.

Si, dans une pensée de transport au loin, l'on compare l'électricité à la chaleur, avec laquelle elle se confond, comme lois de conduction métallique, l'électricité présente cet immense avantage que le rayonnement n'existe relativement pas; en d'autres termes, que la protection d'un canal contre le rayonnement ou contre la propagation au milieu ambiant, est très possible et très facile sur une portée quelconque avec l'électricité, notamment dans les milieux gazeux, tandis qu'elle est très difficile et peu efficace pour la chaleur.

La comparaison avec les systèmes de transport et de distribution d'un combustible est d'un autre ordre, puisqu'alors (c'est le cas du gaz) l'Énergie est transportée à l'état latent; elle ne devient, à proprement parler, énergie active qu'au moment de l'emploi.

Mais alors l'électricité voit la balance s'incliner de son côté, sous le rapport du coût de la canalisation, de ses frais d'entretien, des pertes ou fuites qui, dans certains sols meubles (en Hollande, par exemple), atteignent normalement le quart de la production.

Sa supériorité est grande, comme sécurité et commodité d'emploi. L'Énergie n'est transformée en chaleur que pour les applications qui la nécessitent et, plus encore qu'avec le gaz, au point final qui l'utilise, sa faculté de concentration d'une grande quantité de calorique sur un point donné est incomparable au point de vue des hautes températures et des transformations de chaleur en lumière.

Quand il est besoin de travail sous forme mécanique, l'Énergie passe directement de la forme électrique à la forme mécanique, par des organes beaucoup plus restreints, plus simples de maniement, moins encombrants et qui ne peuvent manquer de devenir bientôt moins coûteux que les machines motrices nécessaires au gaz pour remplir cette fonction.

Dans le travail que je résume brièvement, j'ai commencé par l'examen des systèmes de distribution les plus répandus, on peut dire les seuls proposés *jusqu'à ce jour*, les distributions par dérivations. Ces systèmes divers ont tous ce trait commun, qu'ils cherchent à assurer une constante différence de potentiel entre les deux points d'attache de chacune des résistances exploitées.

J'ai fixé les formules des rendements absolu et relatif et les conditions de réalisation de ces rendements.

Par économie de langage j'appelle *rendement absolu, puissance absolue* ou *absolu* le nombre d'unités de travail, le nombre de joulads rendus disponibles par seconde; *rendement relatif, puissance relative* ou *relatif* le rapport de ce nombre à celui consommé sur la source pour rendre possible cette récolte sur le récepteur.

J'ai supposé d'abord que toutes les dérivations partent de deux points directement reliés aux deux pôles de la source. Cette donnée comporte la *distribution*, mais exclut le *transport* de l'Énergie; théoriquement, elle ne présente pas de difficultés pour la distribution, bien qu'elle en présente cependant, au point de vue pratique, par l'extrême petitesse de la résistance intérieure qu'il faut réaliser pour la source, si l'on veut alimenter un grand nombre de résistances très faibles; je montre que, seulement pour alimenter cent lampes Werdermann, type de celles de l'éclairage de l'usine Ponsard, à Creil, dont j'ai déterminé les consommations d'Énergie et les éléments électriques, pour la première fois, avec le dispositif à deux galvanomètres (9 juin 1880), il faut, pour avoir un rendement de 50 pour 100, arriver à une machine-source si peu résistante, je donne le chiffre (0,0017), qu'on ne pourrait se contenter des conditions déjà remarquables du type de machine de M. Siemens, qui donne 3 volts de force électromotrice avec 0,0007 d'ohm de résistance, la résistance devant engendrer une force électromotrice de 14 volts.

Puis, constatant que l'obligation de *transporter* l'Énergie force tous les systèmes par dérivations à établir des canalisations doubles, sortes d'épanouissements polaires de la source, sur lesquelles canalisations se branchent les résistances à exploiter, j'ai déterminé dans quelle mesure la régularisation de la distribution se trouve faussée, j'ai complètement élucidé et résolu ce point :

J'ai l'honneur de présenter au Congrès les moyens de calculer de suite, numériquement et exactement, la perte de différence de potentiel qui existe nécessairement entre deux exploitations dérivées quelconques, par exemple, entre la plus rapprochée de la source d'électricité et la plus éloignée de la source.

Supposons qu'un type donné de résistance ρ soit exploité en dérivations successives, régulièrement réparties et séparées les unes des autres par une portion de canal double, d'une résistance donnée a; appelant x le rapport $\frac{a}{\rho}$; n le rang de la dérivation la plus éloignée de la source en comptant la dérivation la plus rapprochée de la source. J'utilise ce que j'ai appelé la chute relative de potentiel, quotient de la chute de différence de potentiel d'une exploitation à une autre exploitation quelconque, divisée par la plus petite des deux différences de potentiel.

Cette chute relative, qui est une quantité très commode à employer dans les calculs et sert à passer immédiatement à la perte absolue et à la perte relative de différence de potentiel, est une équation en x du degré n — 1 de la forme

$$C_1 x^1 + C_2 x^2 + C_3 x^3 + \ldots\ldots + C_{n-1} x^{n-1},$$

j'ai trouvé la loi de formation des coefficents C_1 C_2 C_3 . . . . C_{n-1}; elle est la suivante : le coefficient d'une puissance quelconque de x s'obtient en faisant la

somme du coefficient de la même puissance de l'équation précédente et des coefficients de la puissance de x inférieure d'une unité dans toutes les équations précédentes.

J'ai donc pu établir le tableau des coefficients pour les équations successives.

NOMBRE de DÉRIVATIONS exploitées.	COEFFICIENTS DES PUISSANCES.						
	x^0.	x^1.	x^2.	x^3.	x^4.	x^5.	x^n.
1	1						
2	1	1					
3	1	3	1				
4	1	6	5	1			
5	1	10	15	7	1		
6	1	15	35	28	9	1	
99	1	4851	3828175				
100	1	4950	3980974				
1000	1	499500	37 billions.				
.....	.....	.....	.....				

Dans ce tableau, $x = \frac{a}{\rho}$ ou $x = \frac{R}{(n-1)\rho}$, R étant la résistance totale du canal et n le nombre de dérivations. $\varepsilon_1\ \varepsilon_2\ \varepsilon_3 \ldots\ \varepsilon_n$ étant les différences de potentiel effectives qui animent les résistances de rang 1,2,3.... n; on a :

$$\varepsilon^n = \varepsilon_1 (1 + C_1 x^1 + C_2 x^2 + \ldots + C_{n-1} x^{n-1})$$

d'où l'on tire la valeur de la chute relative H :

$$\frac{\varepsilon_n - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} = H = C_1 x_1 + C_2 x^2 \ldots + C_{n-1} x^{n-1}.$$

Il est extrêmement simple de prolonger ce tableau aussi loin qu'il peut être utile. Mais, en outre, afin de pouvoir de suite déterminer une chute relative de potentiel, en supposant que le tableau ne soit pas encore poussé jusqu'à un nombre quelconque très grand de dérivations, je donne des formules qui eoprimment directement la valeur des coefficients des deux premières puissances de x en fonction de n; ces deux termes en x et en x^2 sont les seuls dont il y ait utilité à tenir compte dans la plupart des applications, parce que je prouve qu'il est nécessaire que x soit très petit pour que le système de distribution soit seulement possible à appliquer.

On a évidemment :

$$C_1 = \frac{1}{2}(n-1)\,n$$

et

$$C_2 = n - 2 + \frac{1}{2}\Big[2.3.(n-3) + 3.4.(n-4) + 4.5.(n-5) + \ldots$$
$$+ (n-3)(n-2).2 + (n-2)(n-1).1\Big].$$

Si M est la valeur qui rend maximum $M(n-M)(n-M-1)$, valeur qui est

$$\frac{2n-1}{3}-\sqrt{\left(\frac{2n-1}{3}\right)^2-\frac{n^2-n}{3}}$$

on a par approximation :

$$C_2=n-2+\frac{1}{4}\Big[M(n-M)(n-M-1)(n-3)+$$
$$+(n-1)(n-2)M+2.3(n-3)(n-3-M)\Big]$$

ou par intégration :

$$C_2=\frac{1}{24}n^4-\frac{1}{12}n^3-\frac{1}{4}n^2-\frac{2}{3}n+3.$$

Mes formules s'appliquent également aux cas où des canaux secondaires sont branchés sur le canal primaire, des canaux tertiaires sur les canaux secondaires, et où l'on emploie un nombre quelconque d'ordres de canalisations.

J'ai le droit et le devoir de dire que la question que j'ai ainsi traitée à fond est absolument résolue dès aujourd'hui, puisque les conditions d'exploitation déterminant x, il en résulte immédiatement la connaissance numérique exacte du résultat final que donnera l'exploitation si on la réalise.

J'en ai fait une application numérique à l'un des systèmes qui fonctionnent actuellement à l'Exposition, le système Edison de distribution d'un courant par dérivations successives à des lampes incandescentes du même inventeur. Ce système de distribution fonctionne ici avec une portée restreinte à partir de la source et un nombre restreint de lampes dérivées; mais, d'après les renseignements des intéressés, il se prépare en ce moment à New-York un essai important d'éclairage public par ce système, et, à leur dire, on peut, d'une machine électrique servant de source, faire partir un canal double, d'où peuvent ensuite partir des branchements divers d'ordre supérieur, de telle sorte que la portée du canal primaire soit de 1333 mètres, s'éloignant en ligne droite de la source, cette portée pouvant alimenter 1000 lampes avec une seule prise de courant près de la source. Or mon travail prouve immédiatement qu'étant donnée la résistance d'une lampe, 120 ohms, la portée, la section du canal primaire (type *boulevard* d'Edison, 115 millimètres carrés), la section des canaux secondaires (type *maison* d'Edison, environ sept fois moindre), ce résultat ne peut être obtenu, c'est-à-dire qu'avec les sections citées, la perte de différence de potentiel, depuis les premières lampes jusqu'aux dernières, sera considérable ; j'en donne le chiffre : 1,88 de chute relative et 0,65 de perte relative, c'est-à-dire perte des deux tiers de la différence de potentiel de la première à la dernière lampe.

Je prouve donc que cette application ne pourra se faire dans des conditions acceptables, à moins de l'un des amendements suivants ou leur combinaison :

1° Augmenter la section des canaux dans une proportion que je prévois numériquement, augmentation tout à fait proportionnée à la quantité totale d'Énergie véhiculée au départ, moins de 147 chevaux, graduellement répartie en 1000 parties, de l'origine à l'extrémité de la portée de 1333 mètres;

2° Créer d'autres prises de courant multipliant les points où la canalisation

sera alimentée d'une différence de potentiel venant directement de la source, c'est-à-dire vierge encore des affaiblissements si rapides et prévus numériquement;

3° Exploiter en réunissant en tension un certain nombre de lampes; mais alors ce serait un autre système, et l'on renoncerait au principal avantage, qui est d'avoir chaque lampe indépendante des autres.

Je crois que la distribution en quantité, ou dérivations successives, sera presque nécessaire pour certaines applications, par exemple, pour desservir un nombre donné ou variable de récepteurs mobiles comme le seront des véhicules électriques circulant dans les rues, avec ou sans chemin métallique ; il y aura lieu alors de s'arranger pour rester en deçà du nombre limite par chaque tronçon de canal exploité en dérivations successives.

Afin de pouvoir reculer ce chiffre le plus possible, j'ai moi-même cherché à améliorer, autant qu'il se peut, le fonctionnement des systèmes en dérivation, et j'indique le moyen consistant à alimenter, non pas en correspondance, c'est-à-dire en mettant les deux moitiés du canal double en rapport avec les deux pôles de la source par deux points correspondants, mais à alimenter par opposition, c'est-à-dire en prenant les deux points en question, l'un à une extrémité d'un des conducteurs du canal, l'autre à l'extrémité opposée de l'autre conducteur du canal.

Certes, on dépense du cuivre pour réaliser ce dispositif, mais l'économie est encore très grande, tout compte fait, environ $\frac{5}{8}$ d'économie sur le cuivre qui serait nécessaire pour assurer une même perte relative de différence de potentiel avec l'alimentation par correspondance. Or, avec l'alimentation par opposition, l'équation a la même forme, mais est du degré $\frac{n}{2} - 1$, ce qui donne une chute considérablement atténuée, puisque le coefficient de la puissance première varie comme les carrés.

Il est à remarquer que, pour une perte relative donnée, avec une portée donnée et un nombre donné d'exploitations en dérivations d'un type de résistance donnée, la dépense de cuivre est la même, que le transport d'Énergie soit considérable ou faible. Cette indépendance manifeste bien le vice originel des systèmes de distribution par dérivation. Ainsi je montre que, avec une résistance type de 120 ohms à exploiter en dérivations successives, quelle que soit la grandeur du transport d'Énergie, il faut invariablement consentir à une dépense minimum de 1,212,000 centimètres cubes de cuivre par kilomètre de portée, si on veut exploiter 1000 dérivations et ne pas dépasser une perte relative de $\frac{1}{10}$, c'est-à-dire se contenter d'une réalisation qui donnera, dans les dernières résistances par rapport à la source, environ $\frac{1}{8}$ de moins d'Énergie calorique que dans les premières. Et encore ces chiffres s'appliquent à l'alimentation par opposition, qui économise les $\frac{5}{8}$ de la dépense du cuivre nécessaire par correspondance, pour obtenir le même résultat ; et, je le répète, cette dépense considérable minimum sera la même, qu'il s'agisse de développer dans chaque résistance exploitée une puissance de plusieurs chevaux, ou de 147 millièmes de cheval, ce qui est le cas d'une lampe Edison.

Je donne lecture de la proposition qui me paraît être la conséquence des résultats de cette partie de mon travail :

PROPOSITION

« En raison d'applications importantes et coûteuses qui pourraient être tentées dans une voie qui ne peut aboutir favorablement lorsque le nombre des distributions est réparti sur une grande surface et doit être considérable, il y aurait intérêt général à ce qu'il fût signalé que, pour appliquer rationnellement et avec fruit les distributions par dérivations successives, il ne suffit pas de s'arranger pour que les résistances exploitées soient très grandes, mais que, de plus, il est nécessaire que la nature de l'exploitation projetée soit telle que les exploitations qu'il faudra desservir par chaque canal double rayonnant de l'usine puissent ne pas être en grand nombre ; ce nombre étant malheureusement le seul élément qui, pour un type de résistance exploitée, détermine la section du canal, pour une portée donnée de ce canal, et détermine par suite la dépense minimum du cuivre de canalisation, même indépendamment de la grandeur ou de la petitesse des énergies distribuées.

« En même temps, il serait utile que le tableau qui fixe les chutes de différence de potentiel et les moyens rapides d'appréciation exacte, que j'ai l'honneur de présenter, fussent portés à la connaissance des personnes intéressées aux applications industrielles, afin de mettre ces personnes en mesure de se rendre compte par elles-mêmes, à l'avance, des cas et des conditions dans lesquels elles doivent réaliser des distributions par dérivations successives qui puissent répondre aux *desiderata* qu'elles ont en vue. »

Je suis donc arrivé à la conclusion motivée que, pour les grands transports d'Énergie, lorsqu'il s'agit de débiter, sur un très long parcours, une très importante Énergie totale, en un très grand nombre de portions quelconques, la solution est de distribuer en tension.

Mais, pour y arriver, il reste un très grand nombre de difficultés à résoudre et il faut élargir le champ des idées usuelles par des points de vue nouveaux, tirer un meilleur parti de ce qui existe, créer de nouveaux organes et en faire un ensemble vivant d'une vie nouvelle, de telle sorte que, sans complications nulle part, même sans demander aux machines autre chose que ce qu'elles font tous les jours, on arrive cependant à exporter à tout moment d'une usine unique, par un canal unique, la quantité exacte d'Énergie convenable pour alimenter la somme de toutes les consommations locales d'Énergie à toutes distances, ces consommations étant, à tout moment, modifiables en nombre et en grandeur, et leurs régulations étant automatiques, ainsi que la régulation de l'exportation d'Énergie.

J'ai fait d'abord ressortir l'utilité technique du point de vue nouveau consistant à dissocier complètement les conditions de fonctionnement des moteurs récepteurs en général, des conditions de fonctionnement, de la machine source expéditrice.

Je montre qu'en composant l'exploitation en tension d'un certain nombre de moteurs, du même type par exemple, et la source du nombre convenable de machines identiques aux moteurs, sources et moteurs tournant au même nombre de tours, celui du type, en admettant pour un instant que le type ne soit doué d'aucune élasticité d'allure, j'ai, sans changer ni l'allure ni l'intensité de circulation convenant au type, amélioré pourtant beaucoup toutes les faces de l'exploitation, le rendement individuel des sources n'ayant pas changé, étant

resté de 75 pour 100, mais celui des moteurs ayant passé de 66 à 80 pour 100 (Type C).

Le bilan de l'amélioration d'exploitation est, par rapport à l'utilisation usuelle, le doublement du travail recueilli sur les moteurs, le kilogrammètre de ce travail étant cependant obtenu à un coût inférieur d'un sixième, et cela avec une augmentation d'un tiers seulement du matériel.

Je montre que le rendement relatif, toujours le produit des rendements individuels de la source et du moteur sous la forme $\frac{E-\rho i}{E+\rho i}$, E force électromotrice correspondant à l'allure et à l'intensité i du type dont la résistance est ρ, nous indique de suite quelle résistance de liaison nous pouvons introduire entre les sources et le moteur pour ramener le rendement relatif de l'ensemble, de 60 pour 100 à 50 pour 100 par exemple.

Je détermine les conditions dans lesquelles doivent être organisés le transport, la distribution et la consommation en tension de l'Énergie par voie électrique.

J'ai pris pour point de départ un type quelconque de machine, par exemple, la machine Gramme C, expérimentée à Chatham, et, acceptant les chiffres officiels de ces expériences, j'ai discuté ces chiffres et montré qu'ils sont ceux d'une machine source qui actionnerait directement une machine identique moteur, avec un rendement de 50 pour 100 ; j'ai appliqué l'amélioration dont je viens de parler, et j'en ai conclu la résistance à intercaler par moteur C dans une exploitation en tension et, par suite, la portée par moteur donnant à l'allure et à l'intensité prévue, avec un rendement de 50 pour 100, une puissance de 7 chevaux et demi, celle qui résulte des données, cette portée étant la moitié de la longueur de fil (de section appropriée à l'intensité) constituant la résistance en question, égale à la résistance intérieure du moteur.

J'ai alors déterminé la portée maximum et le débit total maximum de puissance que comporte l'emploi de ce type, sans dépasser, à la source, une grandeur de différence de potentiel rationnelle et pratique, à fixer positivement par quelques expériences directes et que j'ai pris, par exemple, de 10,000 volts, valeur qui doit être sans doute de beaucoup dépassée, étant donné que chaque élément source ne supporte qu'une très faible différence de potentiel.

Les limites de ce type étant déterminées, j'ai, avec ces paramètres, établi les formules générales qui me permettent, pour un débit total quelconque, P chevaux et une portée quelconque L mètres, de connaître le facteur M, par lequel il faut multiplier les sections des fils du type C, pour conserver le même rendement, la même puissance individuelle du moteur récepteur à la même allure, et utiliser le nombre voulu de ces puissances ; appelant S la section inconnue du canal, je suis arrivé aux formules :

$$M = P \times 0{,}001375,$$

$$(\alpha) \qquad S = PL \times 0{,}00000218,$$

$$(\beta) \qquad S = P \times 0{,}02751.$$

Les deux formules donnent la section du canal en millimètres carrés et conviennent toutes deux pour calculer cette section, lorsque la portée L est de 12,630 mètres; en deçà de cette portée, la formule (β) devant être employée, tandis qu'au delà de cette portée c'est la formule (α) qui doit l'être.

Pour P chevaux de débit total sur le canal, au rendement minimum de 50 pour 100, la dépense de cuivre en centimètres cubes par mètre de portée, est donnée par la formule $2\,P \times 0{,}02751$ jusqu'à la portée $L = 12{,}630$ mètres, et au delà de cette portée par la formule $2\,LP \times 0{,}00000218$.

J'en ai fait l'application aux conditions qui se présenteraient dans l'exploitation d'une ville comme Paris, de 8 kilomètres de diamètre, avec une seule usine centrale d'Énergie et une seule canalisation de fil de 4 millimètres 8 dixièmes de diamètre, comprenant, en un seul circuit, toutes les exploitations en tension ; le circuit total composé d'un grand nombre, non limité, de boucles à 36,660 volts disponibles, ces circuits partiels de 8 kilomètres de développement et de 4 kilomètres de portée, desservant chacun 800 maisons de 10 mètres de façade, taxées par exemple à la consommation de 3 chevaux d'Énergie sous toutes formes, soit 2,400 chevaux de débit total par 8 kilomètres de développement. Avec 10.000 volts il faudrait 66 millimètres carrés de section, c'est-à-dire un fil de 9 millimètres 17 de diamètre.

Après avoir montré qu'il est possible, comment, sur quels chiffres il est possible de réaliser, dans de bonnes conditions déjà, une exploitation aussi importante et aussi étendue qu'on le veut, en utilisant les machines telles qu'on les dispose actuellement, je prouve l'importance extrême qu'il y aurait à réduire la résistance intérieure des machines pour accroître les rendements de transports d'Énergie, et je donne les moyens d'y arriver.

Importance extrême de la réduction de la résistance intérieure des machines pour le rendement relatif des transports et des distributions d'Énergie. — Rendement individuel. — Déterminante. — Moyens.

Considérons le taux du rendement de la machine C source, il est $\frac{E - \rho i}{E}$, expression dans laquelle pour la machine C, $\rho i = \frac{1}{4} E$.

Généralement si $\rho i = \frac{E}{m}$, le rendement $= \frac{m-1}{m}$, la machine travaillant comme source.

La même machine travaillant comme moteur, le rendement $\frac{E}{E + \rho i}$ devient $\frac{1}{1 + \frac{1}{m}} = \frac{m}{m+1}$, et le rendement relatif sans fil de liaison est $\frac{m-1}{m+1}$; nous voyons que les rendements individuels et le rendement relatif croissent très vite et se rapprochent rapidement de l'unité, à mesure que m augmente. La valeur $m = \frac{E}{\rho i}$ est donc la seule quantité qui, pour tout régime électrique et mécanique d'un type de machine (intensité de circulation et allure), détermine les valeurs du rendement individuel comme source, du rendement individuel comme moteur, du rendement relatif comme source et moteur dans le transport de puissance : c'est pourquoi j'appelle cette valeur m la *déterminante* des rendements d'une machine.

L'orateur en fait l'application aux données numériques de la machine Gramme C, il montre que le même champ étant constitué par un aimant, la

déterminante passe de 4 à 14, le rendement individuel comme source devient $\frac{13}{14}$, comme moteur $\frac{14}{15}$, et comme relatif $\frac{13}{15}$. Il montre, sur divers exemples numériques, pourquoi l'excitation séparée des électros est avantageuse, quoique à un moindre degré, comme source, et est désavantageuse comme moteur; pour une canalisation transportant l'Énergie au rendement $\frac{T}{100}$ il arrive à la formule $N = \frac{100\,(m-1)}{T} - (m+1)$, N étant le rapport de la quote-part de résistance de canal, afférente à chaque récepteur unité, à sa résistance intérieure. Il montre, sur cette formule, dans quelle mesure numérique avantageuse, l'accroissement de m influe sur l'économie de canalisation, l'accroissement de portée et de rendement de la distribution d'Énergie à distance.

Il est donc démontré par ce qui précède que :

PROPOSITION

Il y a lieu de recommander comme très important, comme tout à fait capital, au point de vue des transports d'Énergie par voie électrique, la constitution séparée du champ magnétique, des machines employées comme sources, soit par l'excitation séparée d'électros inducteurs, soit surtout par l'emploi d'aimants très énergiques.

Au point de vue du rendement des transports d'Énergie par voie électrique, il y a lieu de recommander de ne jamais employer l'excitation séparée des électro-aimants pour les machines qui doivent agir comme moteurs; mais il y a lieu de recommander de chercher à établir des types de machines dans lesquelles le champ magnétique serait constitué par des aimants dont la polarité résultante serait rendue très énergique et durable.

Dans une grande exploitation en tension, moyens propres à régler automatiquement, à l'usine, la constance du débit électrique du canal, malgré toutes variations dans le nombre et la grandeur des consommations des diverses exploitations extérieures locales d'Énergie, de telle sorte que les éléments sources travaillent toujours à rendement maximum.

La donnée rationnelle de la solution est d'utiliser la moindre variation de l'intensité qu'on veut rendre constante, à introduire aussitôt, par une succession graduelle, mais très rapide, un nombre croissant ou décroissant d'éléments sources travaillant dans des conditions identiques et maxima de fabrication de différence de potentiel disponible. J'insiste sur l'importance de cette manière nouvelle et fructueuse de considérer dans un élément source, non pas sa force électromotrice, dont il consomme lui-même une partie pour la circulation dans sa propre résistance, mais bien ce qui reste après ce prélèvement, c'est-à-dire ce qui est, en réalité, utilisable à n'importe quelle distance hors des bornes comprenant l'ensemble électrique générateur total.

Je fais expressément remarquer :

1° Que, généralement, il faut exclure, *a priori*, tout système qui ne fabri-

querait pas l'Énergie au rendement individuel maximum de la source. Ce serait un vice radical.

2° Que cette première condition entraîne la *nécessité d'une intervention mécanique* (automatique bien entendu) pour régler le nombre ou le groupement des éléments source, même dynamo-électriques, car une machine dynamo-électrique ne jouit de son rendement individuel maximum que pour un seul régime, qui est celui du maximum de champ et d'allure qu'elle comporte.

Il en résulte donc qu'il ne serait pas juste de voir un progrès dans un dispositif quelconque qui viserait à éviter toute intervention mécanique de régulation à la source, car ce résultat ne pourrait être obtenu qu'en subissant un déficit sur le régime de maximum (allure, champ). C'est le défaut capital du système, ingénieux d'ailleurs, exposé au Congrès par M. Marcel Deprez ; il vise à régler l'exportation de la source par une réaction modificatrice du champ, ce qui le force à choisir, pour la source, l'allure qui fait varier le champ selon la loi permettant d'obtenir la régulation. Il pèche alors doublement, par le sacrifice du champ et de l'allure maxima.

Cela posé, il est très facile et très sûr de demander à une sorte de relais électrique l'unique fonction, automatique, de fermer ou de rompre le circuit d'un courant auxiliaire indépendant ; le courant exporté, lui-même, ou un *shunt* déterminé de ce courant, passe donc par un organe vigilant, libre de se déplacer, dans un sens ou dans l'autre, entre deux arrêts rapprochés, et ces petits déplacements, dans un sens ou dans l'autre, de chaque côté du point intermédiaire d'équilibre, sont utilisés à *fermer*, dans le circuit d'un électro-aimant ou d'un autre électro-aimant, et *à rompre* le courant auxiliaire précité.

L'organe vigilant est, soit tout dispositif du genre de certains arrangements combinés par Gloesener ou M. Deprez, tendant à prendre brusquement, pour chaque débit qui les traverse, une position précise d'équilibre, soit, toutes les bobines ou anneaux induits, petite machine électrique quelconque, dont le collecteur devient inutile et dont le mouvement est limité entre deux arrêts rapprochés, en étant équilibré par ressort ou contre-poids, pour la position moyenne seulement qui correspond à l'effort tangentiel qui existe lorsque le débit exporté fonctionne à l'intensité voulue. Le principe de ce second genre de dispositif est exactement celui de la balance de Becquerel. Il est donc acquis que, à la moindre tendance d'accroissement ou d'affaiblissement de l'intensité du débit, le courant auxiliaire sera ainsi automatiquement fermé dans un électro ou dans l'autre.

Ces électros, convenablement puissants, sont disposés en regard l'un de l'autre et sont fixés sur deux poulies qui les entraînent constamment, d'un mouvement rapide de rotation, dans un sens et dans l'autre ; entre ces deux électros existe un plateau de fer doux, calé sur l'arbre correcteur du nombre des éléments sources à mettre en ligne à chaque instant. Il résulte de cette disposition que, à la moindre tendance modificatrice du débit de régime, le nombre d'éléments nécessaires pour rétablir le régime est graduellement et brusquement ajouté ou retranché, ou, s'il y a lieu, le groupement d'un même nombre d'éléments est modifié.

Quant aux éléments sources, ils peuvent tourner à une vitesse invariable, celle qui leur convient le mieux pour fabriquer leur disponible de chute de potentiel dans les meilleures conditions. Ces éléments peuvent être des machines distinctes ou des portions distinctes d'une ou de plusieurs machines. Le moteur mécanique, qui actionne l'arbre des éléments sources, est muni

d'un régulateur précis d'allure; ce régulateur pouvant être électrique ou non.

Le premier de ces éléments sources étant lié au canal, les éléments étant successivement reliés entre eux en tension, la dernière borne du dernier élément étant libre, les touches métalliques successives et isolées d'un distributeur (de révolution) sont liées aux jonctions des éléments et à la dernière borne libre ; un balai ou frotteur mobile, dont l'arbre est précisément l'arbre correcteur précité, parcourt, dès qu'il y a lieu, ces touches successives, s'arrêtant aussitôt à celle qui assure le débit de régime.

Quand il est utile, le premier déplacement du balai correcteur modifie d'abord, jusqu'à la valeur la plus élevée ou la plus faible, la force électromotrice disponible fournie par un même élément source servant toujours d'appoint de force électromotrice disponible.

Je ne décrirai pas les dispositifs de détail qui permettent de résoudre les questions de détail de l'application.

Conditions de fonctionnement automatique des diverses sortes de récepteurs locaux d'Énergie, dans l'exploitation en tension par une seule canalisation.

Ces récepteurs locaux sont indifféremment des moteurs pour consommer du travail mécanique, des robinets à débit constant (de même sens ou alternatif à phase quelconque) pour consommer une forme définie quelconque de courant : régulateurs de lumière à courants continus, électrolyses, bougies ou régulateurs de lumière à courants alternatifs ; ou simplement des résistances pour la consommation de chaleur proprement dite.

A ma connaissance, MM. Deprez et Maxim ont déjà employé la régulation de l'intensité : M. Deprez, pour faire marcher de petits moteurs à aimants destinés à actionner le remontage des télégraphes de M. Hughes, à allure réglée par organe centrifuge ; M. Maxim, pour pouvoir diminuer le nombre des lampes de son système exploitées en tension sur un circuit. Mais M. Deprez obtenait la régulation du courant en modifiant automatiquement le champ magnétique par la variation de la résistance du circuit inducteur des électro-aimants. M. Maxim modifiait la force électromotrice en inclinant plus ou moins la ligne des balais sur le collecteur de l'anneau induit, par rapport à la position de meilleur rendement.

Le genre d'alimentation que j'ai défini est très différent ; il fabrique le disponible de chute de potentiel nécessaire à tout moment, toujours avec le meilleur rendement individuel de la source, laquelle diminue sa résistance intérieure, s'il faut moins de chute disponible.

Dans les alimentations dont je viens de parler, la résistance intérieure de la source restait la même, c'est-à-dire que la chute était fournie à des rendements individuels de moins en moins bons, à mesure qu'il fallait moins fabriquer de cette chute.

En outre, la combinaison et l'organisation permettant d'exporter, grâce à la régulation du courant, une quantité d'Énergie non limitée, sous des formes très diverses, constituent des idées et des faits techniques nouveaux qu'il est utile de faire connaître.

Les récepteurs-moteurs étant traversés en tout temps de leur fonctionnement par une intensité constante, disposent d'un couple moteur constant.

Les avantages du fonctionnement d'un moteur, sur débit constant, sont les suivants :

Le moteur ne peut plus être brûlé ni avarié ;

Le couple moteur est constant ; le champ magnétique est constant et la force électromotrice du moteur est proportionnelle à l'allure, ainsi que le rendement absolu, qui est la puissance mécanique du moteur ou le travail mécanique produit par le moteur en une seconde. Le rendement relatif individuel, c'est-à-dire le rapport de la quantité précédente à l'Énergie totale qui est dépensée entre les deux bornes du moteur, croît avec l'allure et lui est presque proportionnel dans les bons rendements.

Le travail par tour est constant, quelle que soit l'allure.

Si i est l'intensité mère ou de régime du canal, ρ la résistance intérieure du moteur, E la force électromotrice engendrée par le moteur à l'allure d'un tour par seconde [1], il en résulte qu'à l'allure de N tours par seconde, la force électromotrice du moteur est NE, son rendement absolu est NEi joulads par seconde ; son rendement relatif individuel est $\frac{1}{1+\frac{\rho i}{NE}}$ ou $\frac{1}{1+\frac{1}{m}}$; son travail constant par tour est Ei joulads.

Le fonctionnement des moteurs électriques à grande comme à petite puissance compris et organisé de cette façon, sur courant rendu automatiquement constant, fait de ces appareils des machines motrices extrêmement pratiques et théoriquement parfaites. C'est comme si l'on avait réalisé cet idéal mécanique d'un arbre d'horloge dont le poids moteur constant n'aurait jamais besoin d'être remonté, mais avec cette supériorité de pouvoir à tout moment supprimer et rétablir ce poids moteur sans consommer de travail.

Si l'exploitation locale comporte un couple résistant constant, le réglage de l'allure en résulte : sinon, le récepteur doit être muni d'un régulateur centrifuge d'allure, propre à lui interdire de dépasser une allure limite correspondant au cas où le couple résistant de l'exploitation locale tomberait en dessous d'une grandeur prévue. A ce moment, la fonction du régulateur centrifuge est de fermer les bornes du récepteur en circuit nul, sans ouvrir le circuit comprenant la résistance intérieure du moteur. Il en résulte qu'il ne passe plus, pour ainsi dire, aucun courant dans le moteur, jusqu'à ce que, l'allure tombant un peu en dessous de la limite prévue, le régulateur centrifuge sépare les surfaces de contact du circuit de résistance nulle, et ainsi de suite.

Lorsque l'application comporte non seulement la nécessité de ne pas dépasser une allure, mais encore l'utilité de conserver exactement une allure donnée, le moteur récepteur employé est tel que son couple moteur ait une grandeur toujours un peu supérieure à celle de la plus grande valeur du couple résistant à exploiter, et le but est atteint.

Robinets à débit constant.

D'abord, il va sans dire qu'il est nécessaire de pouvoir disposer de transformateurs locaux automatiques, lorsque, dans une grande organisation, l'on

1. Dans le champ de régime.

se propose de distribuer l'Énergie par un unique canal sous toutes formes diverses.

Ces récepteurs sont des appareils montés généralement sur arbre vertical; le courant mère de l'unique circulation les traverse, et l'on recueille, à leurs bornes d'exploitation, le débit continu ou alternatif quelconque pour lequel le robinet a été construit. En outre, le nombre des exploitations locales, placées en tension sur son circuit local d'exploitation, peut être modifié en plus ou moins; et, automatiquement, par le simple jeu des lois naturelles, le robinet modifie son allure, de façon à verser encore, pour ce nouveau nombre d'exploitations locales, le débit électrique continu ou alternatif pour lequel il a été construit. Il importe peu d'ailleurs que ces exploitations, en nombre facultativement variable, soient égales ou inégales, de la même nature ou de natures différentes; la seule condition qui leur soit imposée est que toutes aient besoin de la grandeur et de la forme de débit électrique (continu ou alternatif quelconque) pour lesquels le robinet a été construit. Ces deux qualités, grandeur et forme, c'est-à-dire continuité ou alternance plus ou moins rapide et plus ou moins diversement répartie du sens de courant, constituent le débit tel qu'il doit être pour une application déterminée; c'est donc la véritable caractéristique des exploitations locales de courant; j'en désigne l'ensemble par l'expression de *catégorie de débit* d'une exploitation locale.

La construction et le fonctionnement automatique de tout robinet à débit constant dérivent directement de mon nouveau théorème électro-dynamique, qui a été présenté à l'Institut de France, en décembre dernier. On sait que ce théorème est une conséquence de la dépendance absolue et réciproque qui existe entre le couple mécanique d'une machine électrique quelconque réversible et le débit de la circulation électrique qui traverse cette machine à tout instant considéré. Cette dépendance absolue et fatale est la même, que la machine soit employée comme source ou qu'elle soit employée comme moteur; elle s'applique à tous les types de machines réversibles créés ou à créer, sans distinction du mode de constitution du champ magnétique de la machine (électro-aimants ou aimants quelconques) et sans distinction du mode de constitution des organes induits.

Si donc nous considérons deux machines quelconques réversibles dont les arbres, par une transmission quelconque, soient reliés dans un rapport invariable quelconque de rotation, il en résulte ce théorème que, pour des machines théoriquement parfaites, c'est-à-dire sans inertie d'aucune espèce, le passage, pendant un temps quelconque, dans l'une des machines, d'une quantité déterminée d'électricité, dans un ordre quelconque et même dans des sens différents, avec ou sans interruptions, entraîne nécessairement le passage, dans l'autre machine, d'une quantité totale d'électricité, égale, inférieure ou supérieure, suivant la construction des machines, mais absolument déterminée pour le même ensemble de machines, le même temps et la quantité d'électricité qui a passé dans la première machine pendant ce temps; et tout ceci, indépendamment de la constitution quelconque des circuits extérieurs de l'une et de l'autre machine.

Cela posé, il ne nous reste plus qu'à restreindre la généralité du théorème pour constituer le robinet à débit constant.

Si, en effet, nous supposons que le débit électrique, qui passe dans la première machine, soit de même sens, et soit, par un moyen quelconque, rendu proportionnel au temps, le débit de la seconde machine sera également de même

sens et proportionnel au temps ; en d'autres termes, l'intensité de la circulation mère, commune à tous les récepteurs robinets, étant rendue constante à l'usine, chacun de ces robinets aura une existence indépendante, et lorsqu'on le mettra en action, versera dans son circuit d'exploitation un débit constant, quelles que puissent être les modifications comme force électromotrice ou comme résistance, intentionnelles ou non, intervenues à des instants quelconques du fonctionnement dans le circuit d'exploitation locale dudit robinet.

Nous avons déjà dit que, pratiquement, il y a tout avantage à ce que les deux machines constitutives d'un robinet soient construites calées sur un même arbre vertical.

Remarquons que, soit que nous employions le courant mère à constituer le champ magnétique de la deuxième partie d'un robinet, soit que ce champ soit constitué par un courant indépendant ou par des masses magnétiques permanentes, si nous renonçons à doter de réversibilité la deuxième machine constitutive du robinet, il nous devient loisible d'employer pour cette seconde partie d'un robinet une machine quelconque à courants alternatifs de phase quelconque. Il en résulte que nous pouvons alimenter, par robinet à débit constant, toutes catégories d'exploitations locales demandant des débits alternatifs quelconques, sans rien perdre des avantages précieux de la propriété du robinet, de modifier de lui-même son allure, si l'on modifie le nombre ou la grandeur des exploitations de la catégorie localement *exploitées*, et de ramener de suite, malgré ces modifications toujours facultatives, la catégorie de débit à sa valeur normale (forme et grandeur) prévue par la construction. Je n'entre pas dans les détails permettant d'économiser le passage de l'intensité mère par les robinets, qui ne fonctionneraient pas localement.

Je mentionne, pour mémoire seulement, une classe de récepteurs servomoteurs ou servo-robinets que j'ai prévue pour certaines applications. Cette classe nécessite comme son nom l'indique, une intervention locale qui peut être réglée automatiquement dans des conditions prévues, *ou à volonté* lorsque ces conditions ont à changer d'une manière impossible à prévoir. Ces robinets peuvent être organisés à débit constant ou à débit variable. Je les produirai dès que j'en aurai expérimenté le rendement. Le système est du reste complet sans eux.

En résumé, cet ensemble de combinaisons simples permet, avec un seul centre de production d'Énergie et un seul canal, de fabriquer à rendement maximum et de distribuer l'Énergie sur un parcours d'une longueur quelconque, sous toutes grandeurs, tout nombre et toutes formes usuelles d'exploitations locales par voie électrique, les consommations locales, quelles qu'elles, soient, restant constamment modifiables à volonté et se trouvant toujours indépendantes les unes des autres.

Toutes les régulations locales sont automatiques et sont la conséquence naturelle et forcée d'une unique régulation, effectuée automatiquement à l'usine.

Les actions correctrices, très rapides, provoquées, à un instant quelconque, à l'usine, par le jeu automatique de l'organe vigilant, n'étant, à tout instant, que la différence totale qui existe, en cet instant, entre tous les accroissements et toutes les diminutions des consommations locales d'Énergie, cette compensation se fait sur toute l'étendue du canal.

Je n'ai pas besoin de faire remarquer que, dans l'application, l'enregistrement de la somme d'Énergie utilisée par un consommateur, sous des formes

quelconques, pendant un temps donné, n'est que facilitée par ce fait que l'intensité mère ou de régime étant constante, il ne reste qu'à enregistrer les dépenses totales de différence de potentiel, pendant un temps donné, entre les deux points de la prise totale d'un consommateur.

Je considère donc la proposition suivante comme la conséquence naturelle de cette dernière partie de mon travail.

PROPOSITION.

Il serait d'un intérêt général qu'il fût porté à la connaissance des personnes qui sont intéressées aux distributions industrielles d'Énergie, que, de l'état scientifique de cette question en électricité, il résulte, par exemple, ce fait important, qu'avec un système de distribution en tension, organisé comme j'ai eu l'honneur de l'indiquer, on peut, dans les agglomérations urbaines les plus étendues qui existent aujourd'hui, par un seul canal de section modérée et avec un unique réglage automatique, à une usine unique, distribuer localement, sur un parcours d'une longueur quelconque, en un nombre quelconque de points d'exploitation et en autant de parties qu'on le veut, autant d'Énergie totale qu'on le veut, cette Énergie étant produite à rendement maximum et débitée simultanément sous des formes tout à fait distinctes, telles que :

1° Puissances motrices de n'importe quelles grandeurs, par récepteurs-moteurs;

2° Productions directes de chaleur sur des récepteurs résistances de grande ou de faible résistance;

3° Courants de même sens, de n'importe quelle intensité;

4° Courants alternatifs de n'importe quelle force et de n'importe quelle phase.

Ces deux dernières formes étant réalisées par des récepteurs (robinets à débit constant de même sens ou de sens alternatifs), appareils jouissant de l'utile propriété que leur débit se maintient réglé naturellement, malgré des changements facultatifs du nombre ou de la grandeur des exploitations locales de ces robinets.

SEPTIÈME SÉANCE

5 octobre 1881

PRÉSIDENCE DE M. AD. COCHERY
Ministre des Postes et des Télégraphes.

La séance est ouverte à deux heures dix minutes.

M. LE PRÉSIDENT fait donner lecture du procès-verbal de la dernière séance.

Le procès-verbal est adopté à l'unanimité.

M. LE PRÉSIDENT fait remarquer que, dans la séance plénière du 28 septembre, le Congrès a émis le vœu que le système des signaux, actuellement en usage en Angleterre pour les navires chargés de services télégraphiques, soit adopté pour tous les pays. Il est heureux de pouvoir faire remarquer au Congrès que ce vœu a reçu d'avance satisfaction, au moins en grande partie, dans le règlement international exécutoire depuis le 1er septembre 1880, article 5 :

Tout navire, à voiles ou à vapeur, employé soit à poser, soit à relever un câble télégraphique, tout navire qui, par une cause accidentelle, n'est pas libre de ses mouvements, doit, si c'est le jour, porter en avant de la tête du mât de misaine, et pas plus bas que cette tête de mât, trois boules noires de 61 centimètres de diamètre chacune, placées verticalement l'une au-dessous de l'autre, à une distance d'au moins 91 centimètres ; si c'est pendant la nuit, il doit mettre à la place assignée au feu blanc brillant, que les bâtiments à vapeur sont tenus d'avoir en avant du mât de misaine, trois feux rouges placés dans des lanternes sphériques d'au moins 25 centimètres de diamètre et disposées verticalement à une distance l'une de l'autre d'au moins 91 centimètres.

Ces boules ou ces lanternes servent à avertir les autres navires qui approchent que celui qui les porte n'est pas manœuvrable et, par suite, ne peut se garer.

Les navires ci-dessus ne doivent pas avoir les feux de côté allumés lorsqu'ils n'ont aucun sillage. Ils doivent, au contraire, les tenir allumés s'ils sont en marche, soit à la voile, soit à la vapeur.

Les puissances qui ont adhéré à ce règlement sont:

Allemagne,	Grande-Bretagne,
Autriche-Hongrie.	Grèce,
Belgique,	Italie,
Chili,	Norvège,
Danemark,	Pays-Bas,
Espagne,	Portugal,
États-Unis.	Russie,
France,	Suède.

Le Congrès accueille avec satisfaction la communication de M. le Président.

La parole est à M. le Vice-Président Govi, qui communique au Congrès la note suivante :

Parmi les objets qui figurent dans la salle du Musée rétrospectif se trouve un petit carnet ayant appartenu à Louis Galvani. Ce carnet, que l'extrême obligeance de M. le chevalier Auguste Mattioli, agent du Trésor d'Italie et arrière-neveu de Galvani, nous a permis d'étudier et d'exposer, renferme les Notes autographes de l'illustre précurseur de Volta, relatives aux expériences exécutées par lui sur les torpilles en 1795, pendant un voyage fait à Sinigallia et à Rimini pour y étudier ces poissons électriques.

On rencontre, en effet, dans ce carnet les dates 14 mai, 16 mai et 17 mai 1795, relatives probablement à Sinigallia et celle du 19 mai se rapportant à Rimini, où Galvani ne s'arrêta que deux jours.

Les faits et les considérations enregistrés dans ce carnet se retrouvent, en partie, dans le cinquième mémoire adressé par l'auteur à Spallanzani, mais tout n'y a pas été reproduit, et le Congrès apprendra sans doute avec quelque intérêt que les Notes autographes de Galvani renferment quelques passages qui permettent de faire remonter jusqu'à lui les premières observations relatives à la *polarisation* électrique, dont il aurait peut-être repris l'étude si la mort n'avait pas interrompu sa carrière le 4 décembre 1798 lorsqu'il n'avait encore que soixante et un ans.

Il est évident que les passages inédits du manuscrit de Galvani que je vais rapporter n'enlèvent rien au mérite de Gautherot, de Ritter, ni des autres savants qui se sont occupés des phénomènes appelés par de la Rive *polarisation électrique* ; mais il n'en est pas moins curieux et intéressant de constater que Galvani, quatre ans avant la découverte de la pile, les avait observés et distingués des autres phénomènes électriques.

Pour bien comprendre les passages que je vais vous traduire, il faut se rappeler que, pour Galvani, la fibre musculaire représentait une bouteille de Leyde, dans laquelle s'insinuait le filet nerveux jouant le rôle de conducteur

pour l'armure intérieure de la bouteille, pendant que la surface extérieure de la fibre musculaire représentait l'armure extérieure du petit condensateur. Cette hypothèse se trouve exposée dans le Mémoire de Galvani intitulé *De viribus electricitatis in motu musculari, commentarius*, imprimé à Bologne en 1791.

Voici maintenant les Notes de Galvani :

Première note, au feuillet 22 verso.

1795 [mai, 14-16, à Sinigallia (?)]

« Après qu'une grenouille préparée a subi plusieurs contractions sur la torpille, si on la tient d'une main par les pieds et qu'on applique ses nerfs à un doigt de l'autre main, on obtient de nouvelles contractions plusieurs fois de suite lorsqu'on sépare les nerfs du doigt, c'est-à-dire quand on interrompt l'arc.

« Comme sur plusieurs centaines d'expériences faites à la manière ordinaire, il ne m'était jamais arrivé de voir rien de semblable, j'ai pensé que l'électricité de la torpille s'était communiquée dans ce cas à la grenouille et avait chargé les petites bouteilles de Leyde que j'y ai supposées. »

Deuxième note, au feuillet 68 verso.

1795 (mai, 19, à Rimini.)

« En opérant sur deux grenouilles préparées, qui avaient les nerfs détachés de la moelle épinière, il est arrivé qu'après avoir été appliquées sur le dos de la torpille et en avoir été convulsionnées plusieurs fois de suite, surtout par des secousses données directement par la torpille elle-même, elles ont subi les contractions habituelles lorsqu'on les a tenues par les pieds avec deux doigts d'une main, ou avec un fil de soie, et qu'on a appliqué leurs nerfs aux doigts de l'autre main, mouillés par le contact de la torpille. Les contractions avaient lieu toutes les fois qu'on cessait de toucher les nerfs avec les doigts, c'est-à-dire lorsqu'on interrompait l'arc constitué (comme on le voit facilement) par les deux bras et la partie correspondante du thorax, lequel arc était appliqué par une de ses extrémités aux pieds de la grenouille et par l'autre à ses nerfs.

« Ce phénomène dura un certain temps, et parut plus marqué dans celle des deux grenouilles qui était tombée en convulsions par sa seule application sur le dos de la torpille, sans que celle-ci eût donné de secousses.

« Le phénomène une fois épuisé ne se produisit plus, peut-être parce que l'électricité de la torpille entrée par les nerfs avait affaibli la force de contraction des muscles.

« Comme en y employant le même arc je n'ai jamais vu, sur le très grand nombre de grenouilles employées dans mes expériences habituelles, se produire tant de contractions d'une manière si constante, ce ne serait peut-être pas une conjecture déraisonnable que de supposer que la torpille aurait transmis, dans ce cas, une partie de son électricité à la grenouille, et aurait chargé la petite bouteille de Leyde animale que j'y ai imaginée.

« Elle pourrait peut-être encore s'être déchargée et par conséquent donner

lieu à une nouvelle charge et à de nouvelles contractions ; mais la première supposition me paraît vraisemblable.

« Quoi qu'il en soit, toute la modification a eu lieu dans la grenouille, et non pas dans les doigts ou dans la main qui avait touché la torpille, puisque, ayant humecté le dos de la main, qui certainement n'avait pas touché la torpille, et ayant répété l'expérience, le résultat fut absolument le même. »

Ce sont bien là, si je ne m'abuse, de vrais phénomènes de *polarisation*, provoqués par le passage des décharges de la torpille (directes ou induites) à travers les nerfs et les muscles des grenouilles préparées, et c'est bien à Galvani qu'on peut rapporter la première observation de ces faits, quoiqu'il n'y ait employé d'autres instruments que ces mêmes grenouilles qui lui avaient déjà révélé les phénomènes que Volta attribua au contact des métaux, et d'où allait sortir bientôt ce merveilleux appareil qui a été appelé *Pile* et dont notre Exposition atteste le prodigieux développement.

M. du Bois-Reymond présente quelques observations sur la note précédente. Il demande à faire remarquer que l'observation de Galvani, rapportée par M. Govi, quelque intéressante qu'elle soit en elle-même, est loin de prouver une polarisation dans le sens que nous donnons actuellement à ce terme. Tout ce qui s'est passé dans les expériences de Galvani, c'est que des grenouilles, qui ne donnaient pas la secousse sans métaux, c'est-à-dire, qui n'étaient pas convulsionnées par leur propre courant musculaire, la donnaient après avoir été exposées aux décharges de la torpille. Ce phénomène ne saurait être assimilé à la polarisation, savoir à la production de polarités secondaires dans des conducteurs par le fait d'un courant direct traversant ces conducteurs. M. du Bois-Reymond ne prétend pas pouvoir expliquer d'une manière certaine le phénomène observé par Galvani. Cependant, il est très probable que la plus grande sensibilité de la grenouille pour son propre courant était simplement l'effet de l'immersion des muscles et des nerfs dans l'eau de mer et le mucus humectant le corps de la torpille ; par cette immersion, les extrémités tendineuses des gastro-cnémiens et de l'extenseur du fémur acquerraient la négativité qui leur appartient à l'état de section transversale mécanique ou chimique ; ce qui revient à dire que le courant musculaire augmentait en intensité. C'est là, selon M. du Bois-Reymond, l'explication la plus probable, en ce moment, du phénomène noté dans le carnet de Galvani.

La parole est à M. le vice-président Govi. Il rappelle que le Congrès a chargé son Bureau de faire le groupement des questions qui ont été posées par le Congrès et qui doivent donner lieu à la constitution de commissions internationales.

Les conclusions du Bureau se formulent de la façon suivante :

COMMISSIONS INTERNATIONALES

Le Congrès a émis le vœu que le Gouvernement français veuille bien inviter les autres Gouvernements à constituer trois Commissions internationales chargées d'étudier et de résoudre les questions suivantes :

PREMIÈRE COMMISSION

Déterminer par de nouvelles expériences, pour la pratique, la longueur de la colonne de mercure de 1 millimètre carré de section qui, à la température de zéro degré centigrade, représentera la valeur de l'*Ohm*.

DEUXIÈME COMMISSION

a. Préciser les méthodes d'observation pour l'électricité atmosphérique, afin d'en généraliser l'étude à la surface du globe.

b. Réunir les éléments statistiques relatifs à l'efficacité des paratonnerres des divers systèmes, et à l'action préservatrice ou nuisible des réseaux télégraphiques et téléphoniques.

c. Organiser l'étude systématique des courants terrestres sur les lignes télégraphiques, ou, du moins, des observations de ces courants aux jours *termes* spécifiés par la Commission polaire internationale, à l'époque de ses expéditions (le 1er et le 15 de chaque mois).

d. Étudier les meilleures conditions d'établissement d'un réseau *télémétéorographique* international, permettant aux différentes stations de communiquer entre elles sans cesse, pour obtenir ainsi d'une manière continue l'état météorologique du plus grand nombre possible de points utiles.

TROISIÈME COMMISSION

Déterminer un étalon définitif de lumière, et les dispositions à observer dans l'exécution des expériences de comparaison.

Sur l'invitation de M. le Président, M. Mascart a la parole, et résume en ces termes les travaux du Congrès :

Messieurs,

M. le Ministre m'a donné la mission périlleuse de résumer devant vous les travaux pratiques accomplis par le Congrès, en indiquant brièvement la portée des questions qui ont été examinées et les motifs des résolutions auxquelles

vous vous êtes arrêtés. Pour remplir dignement cette tâche, je m'efforcerai de m'inspirer de votre propre pensée et de me faire l'écho fidèle de vos délibérations.

Dans le domaine de la science pure, nous devons signaler les discussions qui se sont élevées sur le magnétisme terrestre et l'électricité atmosphérique.

On sait depuis longtemps qu'il existe un lien étroit entre les perturbations magnétiques, les aurores polaires et les courants qui se manifestent à la surface de la terre. Les lignes télégraphiques forment aujourd'hui un réseau qui enveloppe le monde entier, jusqu'aux contrées où la civilisation n'a pas encore pénétré et constituent ainsi un immense observatoire magnétique. Vous avez pensé que la science devait demander le concours des administrations d'État et des grandes compagnies qui exploitent les lignes télégraphiques, afin d'utiliser ce réseau pour l'étude du magnétisme terrestre. La question présente même un caractère d'urgence, si l'on veut venir en aide aux expéditions organisées par la commission polaire internationale pour entreprendre pendant une année, à partir de l'automne prochain, une série d'observations simultanées sur le magnétisme terrestre avec des stations distribuées dans les deux hémisphères et aussi près des pôles que le permettront les rigueurs du climat.

Tels sont les motifs des vœux suivants adoptés par le Congrès :

« 1° Que des mesures soient prises par les différentes administrations télégraphiques, afin d'organiser une étude systématique des courants terrestres, sous le patronage d'un comité international.

« 2° S'il n'est pas possible d'obtenir à bref délai une pareille organisation générale, il est à désirer qu'au moins des observations soient faites aux jours termes spécifiés par la Commission polaire internationale, à l'époque de ses expéditions. »

L'électricité atmosphérique a donné lieu à un débat dans lequel nous avons eu la fortune d'entendre les vues ingénieuses et profondes émises par des esprits éminents, parmi lesquels il me suffira de citer les noms de Sir W. Thomson et de M. Helmholtz. Le Congrès en a gardé l'impression que les phénomènes d'électricité atmosphérique, si peu étudiés jusqu'à présent, constituent l'un des problèmes les plus élevés de la science, qu'ils jouent sans doute un grand rôle dans la nature et méritent d'attirer l'attention de tous les observateurs. Les principes ont été bien établis, la signification physique des effets que l'on peut observer a été nettement définie ; mais, pour apporter un progrès marqué dans nos connaissances sur cette question difficile, il est nécessaire que l'on dispose d'observations nombreuses, faites simultanément dans un grand nombre de stations avec des méthodes comparables entre elles. Vous avez donc pensé, sur la proposition de M. Rowland, qu'il était utile d'établir une entente commune sur le « choix des méthodes et des instruments qui répondront le mieux aux indications de la théorie, afin de généraliser cette étude à la surface du globe ».

Les questions relatives à l'électro-physiologie comprenaient, en particulier, l'examen des méthodes employées jusqu'à présent dans les laboratoires de recherches et dans les appareils médicaux, la discussion des méthodes nouvelles qui pourraient être proposées et le moyen d'en rapporter les effets à des mesures absolues. Une Commission spéciale, composée des savants les plus autorisés, a consacré plusieurs séances à ces travaux, et vous avez entendu le savant rapport qui vous a été présenté par M. du Bois-Reymond ; mais la nature

du sujet ne comportait pas de résolutions sur lesquelles le Congrès fût appelé à émettre un avis.

Nous quittons maintenant la science pure pour entrer dans les applications, autant qu'il est permis d'établir aujourd'hui une pareille distinction en présence des résultats et des découvertes dont l'industrie nous a donné le spectacle.

Le problème de la protection des édifices contre les effets de la foudre, résolu déjà dans ses traits principaux par le génie de Franklin, a été l'objet d'une discussion mémorable. Le Congrès a entendu, avec le plus vif intérêt, les explications de M. Melsens sur les paratonnerres à conducteurs multiples, les renseignements fournis sur les instructions de l'Académie des sciences de Paris et de l'Académie de Berlin, les idées émises par plusieurs de nos collègues et les résultats des travaux de la Commission anglaise des paratonnerres. Vous avez pensé qu'il n'était pas possible actuellement d'émettre un avis motivé sur les différents systèmes en présence, mais que le Congrès devait user de son influence pour obtenir « qu'une entente s'établît entre les divers États en vue de réunir les éléments d'une statistique relative à l'efficacité des divers systèmes de paratonnerres en usage ». Une pareille enquête, étendue à tous les pays, sera un document précieux pour fixer à l'avenir l'opinion des savants.

La question n'a pas tardé à prendre un caractère plus général. Les effets de l'électricité terrestre se manifestent sur les lignes télégraphiques avec une intensité particulière et dans des circonstances plus variées, et l'on a dû prendre de nombreuses précautions pour préserver les appareils de réception, les bureaux et les fonctionnaires chargés du service des dépêches.

Jusque-là, les paratonnerres télégraphiques n'avaient guère préoccupé que les administrations. Mais l'électricité ne se borne plus à transmettre la pensée humaine d'un bout à l'autre de l'univers. Grâce à la merveilleuse invention dont Graham-Bell a eu la gloire, et qui constitue l'une des plus grandes découvertes de ce siècle si fécond, l'électricité porte aujourd'hui directement d'homme à homme, et sans aucune traduction intermédiaire, les modulations de la musique et la parole articulée.

Si l'on n'a pas trouvé encore, et s'il y a peu d'espoir de trouver le secret de prolonger la vie humaine, on en multiplie l'activité et les jouissances intellectuelles dans des proportions inespérées. Les résultats déjà obtenus dans les communications téléphoniques nous permettent d'affirmer qu'on a ainsi créé subitement une nouvelle nécessité sociale. Mais, pour répandre ce bienfait, il devient nécessaire de multiplier aussi les fils télégraphiques, d'en couvrir les grandes villes, de les introduire dans l'intérieur des habitations. L'opinion publique a pu s'émouvoir de cette innovation et craindre que l'on ne frayât ainsi un chemin facile aux ravages de la foudre.

A la suite d'une discussion approfondie, le Congrès a pensé qu'on ne devait pas s'inquiéter outre mesure de ces dangers, si des précautions convenables étaient prises dans l'établissement des fils; toutefois, il ne pouvait affirmer que la protection fût absolue, et il a exprimé le vœu que l'enquête relative aux paratonnerres fût étendue aux accidents observés sur les fils télégraphiques et les fils téléphoniques.

M. van Rysselberghe a installé, dans le Palais de l'Exposition, un appareil qui enregistre à Paris les opérations météorologiques faites à Bruxelles, démontrant par expérience la possibilité de mettre à exécution un projet qu'il a présenté au Congrès. On pourrait ainsi obtenir simultanément, dans les prin-

cipaux instituts météorologiques d'Europe, un enregistrement ininterrompu des phénomènes observés dans un certain nombre de stations ; on aurait constamment sous les yeux l'état général de l'atmosphère à la surface de l'Europe, et tous les éléments nécessaires pour renseigner les populations, à la première alerte, sur l'arrivée probable des tempêtes.

Vous avez jugé que ce projet est réalisable et qu'il rendrait des services certains; mais avant de le recommander aux Gouvernements, il a paru nécessaire de le soumettre à une étude approfondie, pour déterminer quelle serait la dépense totale d'installation et d'entretien des appareils et des fils de transmission, ainsi que la part qui incomberait à chacune des nations d'Europe, si l'on devait y consacrer un réseau spécial de fils internationaux.

Au point de vue de la télégraphie pratique, plusieurs questions d'intérêt commun ont été soulevées dans les séances de section et dans le Congrès.

Lorsqu'une ligne en service n'emprunte qu'un seul territoire ou appartient à une seule compagnie, l'administration compétente a toutes facilités d'en étudier et d'en contrôler le bon état ; mais, lorsque la ligne emprunte des fils appartenant à plusieurs réseaux différents, il est souvent difficile, en raison des nécessités de l'exploitation, de trouver le moment opportun pour ces épreuves. Afin de remplir cette lacune regrettable, le Congrès a approuvé le vœu présenté par la 2e Section, « qu'une entente soit établie entre les administrations télégraphiques des divers pays, à l'effet d'instituer des expériences périodiques de mesure sur les fils internationaux ».

La 2e Section a encore présenté au Congrès les vœux suivants, qu'il suffira d'énoncer pour en faire comprendre l'intérêt pratique :

« Dans les marchés et les publications, on ne désignera désormais les fils que par leur diamètre exprimé en millimètres à l'exclusion de toute autre indication de jauge.

« La même règle sera appliquée aux dimensions des diélectriques. »

La construction des câbles souterrains et des câbles sous-marins exige des quantités énormes de gutta-percha, et l'industrie se demande avec inquiétude si les arbres dont on extrait ce produit précieux ne menacent pas de nous faire défaut. La 2e Section a appelé, sur ce point, l'attention des Gouvernements en insistant sur la nécessité de régler l'exploitation de la gutta-percha, de prendre des mesures pour en assurer la conservation et d'essayer dans d'autres pays l'acclimatation des arbres qui la produisent.

Une question de la plus haute importance pour les grandes lignes de communications télégraphiques sous-marines a été soulevée devant le Congrès, celle des droits respectifs des Compagnies qui ont des câbles juxtaposés ou croisés et des règles à établir quand un de ces câbles doit être relevé pour des réparations. On a fait remarquer aussi qu'il n'existe pas, jusqu'à présent, de garanties suffisantes pour la propriété des câbles. Des lignes établies à grands frais, qui mettent en relation les deux mondes et représentent de grands intérêts industriels, n'ont pas une sécurité en relation avec leur importance sociale, et l'on peut craindre qu'elles ne soient souvent compromises sans recours par la malveillance ou la brutalité.

Il y a là des questions de droit international et de droit privé qui échappaient à la compétence du Congrès ; mais vous avez cru devoir appeler sur ce point l'attention des législateurs, et vous avez émis le vœu que « les Gouvernements des différents pays s'occupent de la grave question de propriété et d'usage des câbles sous-marins ».

Le Congrès s'est préoccupé aussi des signaux distinctifs et des règles de navigation à établir pour les navires employés à la pose ou au relèvement des câbles, et avait émis un vœu à ce sujet; mais M. le Ministre vous a informés que cette question se trouve déjà résolue par une convention à laquelle ont adhéré la plupart des nations.

La lumière électrique a tenu dans le Congrès la place importante qu'elle avait conquise dans le Palais de l'Exposition.

Il y a quelques années seulement, la lumière électrique était réservée aux séances exceptionnelles d'expériences scientifiques et à la production des grands effets de décoration théâtrale ; elle n'a pas tardé à prendre possession des phares, où sa puissance d'éclairement a augmenté la sécurité des navigateurs sur nos côtes ; elle est mise à contribution depuis quelques années pour l'éclairage des grands espaces, des ateliers, des magasins, des rues ; enfin elle pénètre aujourd'hui dans les habitations particulières, se perfectionne, se subdivise sous les formes les plus variées et s'impose à l'attention publique.

Dans la discussion qui s'est élevée sur ce sujet et à laquelle ont pris part un grand nombre de savants, on a examiné la nature, la qualité et les caractères nouveaux de cette lumière. Sur la question de savoir comment on pourrait évaluer son pouvoir éclairant, le Congrès s'est arrêté à cette conclusion, que les étalons en usage, les bougies et la lampe Carcel étaient devenus insuffisants. Il est nécessaire de trouver, pour l'avenir, un étalon de lumière qui possède d'autres qualités et un plus grand éclat, et vous avez entendu avec la plus vive attention les idées nouvelles qui se sont fait jour à ce sujet.

En attendant les progrès que l'avenir ne tardera pas à nous apporter, vous avez été d'avis : « 1° de recommander l'emploi de la lampe Carcel dans les comparaisons photométriques que doit faire le Jury avec les divers appareils de lumière électrique exposés ; 2° de présenter le vœu que le Gouvernement français veuille bien prendre l'initiative d'une Commission internationale, qui sera chargée de déterminer l'étalon définitif de lumière et d'indiquer les dispositions à observer dans les expériences de comparaison. »

Enfin, on demande aujourd'hui à l'électricité, non seulement de transmettre la pensée, la parole et la lumière, mais aussi de porter le travail mécanique. Elle est largement mise à profit dans les compagnies de chemins de fer, pour les signaux destinés à protéger la marche des trains ; dans l'industrie, pour la mise en action des organes délicats et même des machines qui exigent un travail important. L'Exposition nous a montré l'électricité employée à faire mouvoir des ventilateurs, des pompes, des voitures, des charrues, et l'on voit arriver le moment où elle portera la force motrice dans tous les ateliers des grandes villes. L'industrie des métaux y a recours pour les dépôts galvaniques, l'affinage, l'extraction des métaux précieux, et nous avons assisté à une expérience curieuse de M. William Siemens où le courant électrique apporte à l'intérieur d'un foyer la chaleur nécessaire pour produire les températures les plus élevées et obtenir de véritables opérations métallurgiques. Toutes ces applications soulèvent une foule de problèmes sur la distribution, la répartition, le réglage des courants électriques, ainsi que le transport du travail mécanique ; le Congrès a entendu à ce sujet des communications du plus haut interêt, et il a appelé l'attention du Jury sur l'utilité de faire des expériences de comparaison avec les appareils dynamo-électriques que renferme l'Exposition.

Le Congrès international, avec l'aide de l'Exposition dont il pouvait profiter comme d'un immense laboratoire, a donné une grande publicité aux décou-

vertes des savants et une impulsion réelle au génie des inventeurs. En dehors de son rôle dans les questions de science technique, ce Congrès a donc fait une œuvre utile au progrès général et marquera une date importante dans l'histoire de l'électricité.

Toutefois, les travaux que je viens de passer en revue rapidement et dont je n'ai pu vous donner qu'une idée incomplète sont la moindre partie de la mission que vous vous étiez imposée. Je me hâte de laisser la parole à notre illustre maître, M. Dumas, président de la 1re Section, qui a bien voulu prendre le soin de vous exposer, dans la langue élevée dont il a le secret, les travaux du Congrès relatifs à la question des mesures électriques.

M. le Président donne ensuite la parole à M. le Vice-Président J.-B. Dumas, qui met en lumière la portée des résolutions adoptées par le Congrès pour la détermination des unités de mesure électriques.

Messieurs,

Une force qui circule aujourd'hui dans toutes les parties du globe, dont les organes, transportant la pensée ou la parole à travers les airs, sous la terre, au fond des mers, bravent toutes les distances et tous les obstacles, devait donner naissance à une vaste industrie.

L'intensité de cette force, sa puissance de jet, la résistance que les agents de transmission opposent à son passage, autant de conditions qu'il était indispensable de définir et de préciser, pour rendre comparables les divers appareils en usage aujourd'hui.

Cependant, les mesures employées dans les divers pays pour désigner cette intensité, cette puissance de jet, cette résistance, ne se ressemblaient pas. Sous le même nom, on désignait autant de valeurs différentes qu'il y avait autrefois de pieds, de livres, de quintaux, de boisseaux, avant l'établissement du système métrique. En passant d'un pays à l'autre, il fallait changer de dictionnaire, et pour mettre d'accord les appareils de deux contrées entrant en communication télégraphique, il fallait se livrer à de longs et inutiles calculs.

Non seulement chaque nation, mais chaque électricien semblait se plaire à imaginer de nouvelles unités de mesure pour les effets de l'électricité. Le désordre allait croissant, lorsque l'heureuse initiative de l'Association britannique pour l'avancement des sciences s'est appliquée à le faire cesser. Il appartenait, en effet, à cette réunion de tous les hommes éminents de l'Angleterre, de prendre en main les intérêts de l'immense réseau de télégraphie sous-marine, dont on doit la création à sa puissante industrie, et de faire servir les vues purement scientifiques de Gauss et de Weber aux besoins de la pratique.

Prenant pour base les découvertes des grands géomètres et des illustres physiciens, l'honneur de notre siècle, dont les noms survivront aux noms, plus retentissants, célèbres par la politique et les armes, l'Association britannique parvint, après de longs travaux, à instituer un système de mesures électriques étroitement coordonnées.

Qu'il fût question de force mécanique, de pouvoir magnétique, de courants électriques, d'électricité statique, de développement de chaleur ou de décompositions chimiques, toutes ces modifications, toutes ces manifestations de la puis-

sance électrique pouvaient être rapportées désormais à une mesure commune, dérivant de trois unités absolues, et pouvaient être formulées en termes clairs et précis, ne laissant prise à aucun malentendu.

En présence d'un tel monument scientifique, digne de tous les respects et de tous les hommages, la tâche du Congrès était tracée. Il n'a pas hésité un seul instant à adopter les principes posés par l'Association britannique. De leur côté, les représentants illustres que l'Angleterre avait délégués au Congrès n'ont pas hésité non plus à accepter les changements de détail que l'état de la science indiquait, et à souscrire à toute modification de nature à rendre plus facile l'adoption universelle du système.

La décision que le Congrès a prise à ce sujet n'est pourtant pas le résultat de concessions réciproques motivées par l'esprit de conciliation seul. Elle a été préparée par une discussion à laquelle aucune lumière n'a manqué.

Les savants les plus autorisés, dont la parole est écoutée avec respect dans le monde entier, ces savants dont le nom est sur vos lèvres, y ont pris tous une part animée et convaincue. Si l'esprit de concorde et le sentiment de la plus délicate courtoisie n'ont jamais cessé de régner dans ces profonds débats, croyez bien, cependant, que la science dans son expression la plus absolue, et la pratique dans son sens le plus élevé, se sont trouvées en présence, défendant avec une égale vigueur et pied à pied leurs territoires respectifs.

L'accord s'est fait, et, par une décision unanime, vous avez rattaché d'une part les mesures électriques absolues au système métrique, en adoptant pour base le centimètre, la masse du gramme et la seconde ; de l'autre, vous avez institué des unités usuelles, plus voisines des grandeurs qu'on est accoutumé à considérer dans la pratique, et vous les avez rattachées par des liens étroits aux unités absolues. Le système est complet.

L'Association britannique avait eu l'heureuse idée de désigner ces diverses unités par les noms des savants auxquels nous devons les principales découvertes qui ont donné naissance à l'électricité moderne ; vous l'avez suivie dans cette voie, et désormais les noms de Coulomb, de Volta, d'Ampère, de Ohm et de Faraday demeureront étroitement liés aux applications journalières des doctrines dont ils furent les heureux créateurs.

L'industrie, en apprenant à répéter chaque jour ces noms dignes de la vénération des siècles, rendra témoignage de la reconnaissance due par l'humanité tout entière à ces grands esprits, dont les bienfaits se répandent sur les plus ignorants et les plus humbles et dont le génie et les efforts ne peuvent être appréciés que par l'élite des générations qui se succèdent. N'est-il pas juste que ceux qui reçoivent en quelques heures, des pays les plus lointains, des nouvelles d'un être aimé, sachent que Volta, Ampère et Faraday ne sont pas étrangers à cet outillage merveilleux, dont la puissance fait battre les cœurs à l'unisson aux deux extrémités de la terre. Coulomb, Volta, Ampère, Ohm, Faraday, ont appliqué leurs forces, sacrifié leur bien-être et voué leur vie entière à ces travaux dont nous recueillons les fruits, et si leur existence modeste et désintéressée n'a réclamé, pour de si grands bienfaits, d'autre profit qu'un peu de gloire, soyons assez justes pour en faire mesure large à leur souvenir.

Les représentants de la France, dans cette assemblée, ne sauraient oublier avec quelle unanimité et quel empressement leurs collègues de tous les pays se sont réunis pour demander que les unités électriques nouvelles fussent rattachées aux unités anciennes du système métrique. Cette décision du Congrès forme le complément de l'œuvre accomplie, il y a bientôt un siècle, par la Convention

nationale. L'adoption universelle des mesures électriques contribuera, sans doute, à décider les nations qui hésitent encore à introduire dans leur législation l'usage du système métrique. Ce sera un grand bienfait. Ce n'est pas aux savants ou aux industriels seuls que son usage est nécessaire : c'est à la population la plus humble qu'il offre des conditions claires pour toutes les transactions, et rapides pour tous les calculs.

En présence du merveilleux spectacle que l'initiative hardie de M. le Ministre des Postes et des Télégraphes a réuni sous nos yeux, a-t-on besoin d'insister pour justifier l'importance que le Congrès a mise aux choix des unités électriques et à leur universelle adoption, par une convention internationale? Comment se reconnaître au milieu de ces appareils si puissants, si délicats, si divers, où se déploient toutes les ressources de la force mécanique, toutes les splendeurs de l'éclairage, toutes les magies des actions chimiques et tous les mystères de l'acoustique, si l'on ne peut comparer entre elles toutes ces manifestations d'une même force et en rapporter tous les phénomènes aux mêmes étalons?

Le Congrès dote la science et l'industrie de ces mesures communes de toutes les grandeurs dont l'influence apparaît dans les actions électriques les plus diverses. Il ouvre à l'espèce humaine une ère nouvelle de progrès et de fécondité, dont le concours empressé de toutes les nations à l'Exposition a révélé l'importance par l'infinie variété des moyens matériels mis au service de l'électricité, par la profondeur des débats que les savants les plus illustres sont venus enrichir libéralement des résultats les plus précieux de leurs travaux.

La mythologie grecque, personnifiant avec bonheur les forces de la nature, avait rangé les vents, les flots et le feu sous les ordres de divinités secondaires; elle avait fait du dieu de la poésie et des arts le représentant céleste de la lumière; par une admirable prescience, elle avait réservé la foudre à Jupiter.

La science et l'industrie se sont emparées depuis longtemps des forces que l'air et les eaux mettent à la disposition de l'homme. La vapeur, animée par le feu, lui permet de franchir tous les obstacles et de dominer les mers. La lumière n'a plus de secrets pour la science, et les arts multiplient chaque jour ses plus surprenantes applications. Restait un dernier effort à accomplir : il fallait saisir entre les mains du maître des dieux la foudre elle-même et la plier aux besoins de l'humanité; c'est cet effort que le XIXe siècle vient d'accomplir, et dont vous constatez le succès dans ce brillant Congrès.

Cet effort restera comme une date mémorable dans l'histoire; au milieu du mouvement, de la politique et des agitations de l'esprit humain, il deviendra l'expression caractéristique de notre époque. Le XIXe siècle sera le siècle de l'électricité!

Après ces éloquentes paroles, interrompues par de fréquents applaudissements, M. le MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES s'est exprimé ainsi qu'il suit :

« Messieurs et chers Collègues,

« Le Congrès est arrivé au terme de ses travaux.

« Il a épuisé le programme qu'il s'était tracé.

« J'eusse été heureux de prolonger vos réunions, de faire profiter la

science, pendant quelques jours encore, de vos savantes et lumineuses discussions; mais il m'a fallu céder aux désirs exprimés par un certain nombre d'entre vous que d'impérieux devoirs rappellent dans leur pays.

« Il me faut donc me résigner, dans un instant, à prononcer la clôture du Congrès.

« Je veux auparavant remercier, au nom de la France, les États qui, répondant à notre appel, ont bien voulu déléguer vers nous leurs plus illustres savants. Nous ne saurions trop leur en témoigner notre reconnaissance.

« C'est grâce à ce précieux concours que le Congrès a répondu à tout ce qu'on était en droit d'en attendre.

« Vous venez d'écouter MM. Dumas et Mascart vous retraçant, dans un langage éloquent, la féconde série des travaux auxquels vous avez participé, travaux dont ils ont eux-mêmes pris leur bonne part. Vous avez droit d'être fiers de votre œuvre, vous avez largement rempli la mission qui vous avait été confiée.

« Quelques questions ont dû être ajournées. Vous nous avez laissé le soin de provoquer ultérieurement la réunion de conférences internationales pour les traiter avec toute l'ampleur qu'elles méritent. Je n'ai pas perdu un instant pour répondre à votre appel.

« Je me suis adressé, sans tarder, à mon collègue M. le Ministre des Affaires étrangères.

« Déjà il a transmis vos vœux aux diverses nations représentées dans cette réunion. Il vous appartient, chers collègues, d'appuyer vous-mêmes nos démarches auprès de vos propres Gouvernements et d'amener ainsi plus promptement des réponses favorables. Déjà même une acceptation nous est parvenue; cet empressement est d'un heureux présage.

« Ce qui est pour moi un devoir, c'est de constater la cordialité, l'esprit de conciliation qui n'ont cessé de régner dans vos débats. Vous présider était facile, il n'y avait qu'à constater l'unité de vues qui dominait et qui se traduisait toujours par l'unanimité de vos votes.

« Vous avez constamment cherché à affirmer l'unification internationale, vous avez voulu qu'il n'y eût qu'un seul langage scientifique de l'électricité, et que les mêmes mesures fussent acceptées dans tous les pays.

« Ainsi, comme je le disais à votre première séance, votre Congrès inscrira glorieusement sa date dans l'histoire de la science, et le souvenir s'en conservera d'autant plus qu'il sera consacré par le précieux recueil de vos discussions, dont je m'honorerai de hâter la publication.

« Il me reste à vous remercier, Messieurs, de la bienveillance que vous n'avez cessé de me témoigner. Le souvenir de nos affectueuses relations ne s'effacera jamais de ma pensée.

« Aussi c'est avec une confiante espérance qu'au lieu de vous dire adieu, je puis vous dire au revoir. »

L'assemblée a accueilli les paroles de M. le Ministre par plusieurs salves d'applaudissements.

M. le docteur Warren de la Rue, secrétaire honoraire et délégué de l'Institution Royale de Londres, s'est ensuite levé et a adressé à M. le Ministre l'allocution suivante :

Messieurs,

Voulez-vous me permettre, comme un des doyens du Congrès, d'adresser en votre nom et au mien nos remerciements à M. le Ministre.

Un très petit nombre d'entre nous, personne peut-être, même parmi les hommes les plus compétents dans les progrès de l'électricité, ne pouvait prévoir au moindre degré la magnificence de cette Exposition.

C'était une idée digne de la grande nation qui a tant contribué à différentes époques à l'avancement des connaissances humaines, d'appeler ici les savants de toutes les nations pour admirer la réunion de toutes les applications de l'électricité et pour discuter les nombreuses questions que soulève le développement industriel des forces électriques.

Monsieur le Ministre, les différentes sections que le Congrès a formées dans son sein ont à vous adresser tous leurs remerciements pour votre initiative hardie; elles ont donné à leurs travaux une grande activité, et nous pouvons espérer qu'elles ont apporté quelque lumière sur les questions qui leur ont été soumises.

Je demande la permission d'ajouter que, lorsqu'un nouveau Congrès d'électricité sera réuni, dans un demi-siècle, par exemple, le grand déploiement de force électrique que nous avons sous les yeux lui semblera peut-être une œuvre aussi microscopique que la petite étincelle magnéto-électrique de Faraday peut le paraître en présence des effets produits par les machines actuelles. Je fais le vœu que ce Congrès d'alors soit assez heureux pour trouver un Président dont l'esprit élevé et l'énergie soient capables de donner à ses travaux l'impulsion que vous avez imprimée au Congrès actuel.

Nous vous adressons, Monsieur le Ministre, les plus cordiales félicitations pour le succès sans précédent du Congrès et de l'Exposition d'électricité.

M. le docteur Clausius, conseiller intime à Bonn, s'est ensuite levé et s'est exprimé en ces termes :

Messieurs,

Permettez-moi d'ajouter quelques mots après ce qu'a dit notre vénérable collègue d'Angleterre. Nous sommes tous pour reconnaître que le Congrès doit une grande partie de son succès à notre bureau et surtout à notre président.

Dans une assemblée comme celle-ci, composée de membres venus de tous les pays, qui parlent différentes langues et qui considèrent à des points de vue différents les questions à traiter, il est très peu aisé de diriger la discussion de telle façon qu'elle aboutisse sans détour et sans retard à un résultat satisfaisant pour tout le monde : notre Président a accompli cette tâche difficile d'une manière excellente; il a fait preuve d'une très grande impartialité et d'une admirable habileté. Aussi avons-nous l'agréable devoir de lui exprimer nos sincères remerciements.

De même, nous devons adresser l'expression de notre reconnaissance au Commisaire général, M. Georges Berger, ainsi qu'à ses collaborateurs, MM. d'Héliand, Breguet et Monthiers, qui, par la complaisance et le grand zèle avec lesquels ils ont tenu compte de tous les vœux du Congrès, ont puissamment facilité ses travaux.

Messieurs, permettez-moi d'ajouter encore quelques mots en ma qualité d'étranger. Les membres étrangers du Congrès ont trouvé chez leurs confrères français un accueil tellement bienveillant, aimable, et je dirai même amical, que leur séjour à Paris et leurs travaux ont eu un charme tout spécial dont nous garderons l'impression durable. Une fois rentrés dans nos patries, le souvenir de notre passage à Paris éveillera sans cesse le sentiment de notre cordiale reconnaissance.

Après ces allocutions, accueillies avec les marques de la plus grande sympathie, M. le Ministre des Postes et des Télégraphes a prononcé la clôture du Congrès.

La séance est levée à trois heures quarante-cinq minutes.

SÉANCES DES SECTIONS

ET DE LEURS COMMISSIONS

PREMIÈRE SECTION

PREMIÈRE SÉANCE

16 septembre 1881.

La séance est ouverte à neuf heures quarante-cinq minutes par M. le Commissaire général, qui invite la section à élire un Président d'âge sous la direction duquel on procédera ensuite à l'élection du Bureau.

M. J.-B. Dumas (France) prend place au bureau.

M. Warren de La Rue (Grande-Bretagne) propose l'élection de M. Dumas; la proposition est acceptée, et M. Dumas est élu Président.

Sont élus Vice-Présidents : MM. Kirchhoff (Allemagne) et Warren de La Rue (Grande-Bretagne).

Sont élus Secrétaires : MM. Mascart (France) et Gérard (Belgique).

La discussion est ouverte sur les *Unités électriques*.

M. Mascart demande si la question sera discutée en séance plénière ou dans les commissions.

Sir William Thomson (Grande-Bretagne) est d'avis que certaines questions de détails soient réservées aux commissions, mais qu'une discussion générale ait lieu dans la section.

M. le Président appuie la proposition, qui est adoptée.

Sir William Thomson, invité par le Président à prendre la parole, demande qu'on prenne pour base du système à adopter les grandes

théories de l'électricité posées par Coulomb et Poisson, développées par Gauss et Weber.

Il expose que le système métrique est la base nécessaire d'un système d'unités électriques, parce qu'il est adopté d'une manière universelle avec les seules exceptions de l'Angleterre et des États-Unis.

Il critique certains termes adoptés et en montre le désaccord.

Il établit la nécessité d'unités se prêtant, par leurs dimensions, aux usages de la pratique.

Il rappelle que Sir Charles Bright et Latimer Clark ont les premiers proposé des noms.

Il énumère l'*Ohm*, le *Volt*, le *Weber*, qui, originairement unité de quantité, est devenu, dans la pratique, unité d'intensité. Il propose le nom d'*Ampère* pour l'unité de quantité.

M. Dumas rappelle que, lors de l'établissement du système métrique, certaines difficultés se sont élevées touchant l'adoption des nouvelles dénominations s'appliquant aux quantités nouvelles, et que les noms qui ont été adoptés ont nui à la vulgarisation rapide du système.

M. Wiedemann (Allemagne) établit la nécessité de mesures pratiques et de mesures qu'il appelle *rationnelles* plutôt qu'absolues.

Il énumère :

1° Le système électro-statique, dont l'unité, basée sur les lois de Coulomb, se rattache simplement à la mécanique. Il soutient qu'il fallait rattacher à ces systèmes les mesures magnétiques, et il expose la grande difficulté des mesures électriques en général.

2° Le système électro-magnétique.

3° Le système électro-dynamique, qui se rattache étroitement au précédent.

4° Les unités pratiques, parmi lesquelles l'unité Siemens avec ses avantages.

Il pose les questions suivantes :

Est-il possible de faire des mesures absolues?

Peut-on faire un étalon?

Il est d'avis de nommer une commission permanente et croit que le moment n'est pas venu de prendre des décisions en Congrès.

L'unité de résistance est le seul étalon existant; il n'en existe ni pour la force électromotrice ni pour l'intensité.

Or l'*Ohm* de l'Association britannique est inexact; il propose donc d'adopter l'unité Siemens à titre provisoire.

M. Helmholtz (Allemagne) dit que la question a un grand intérêt

pour l'avenir, un moindre intérêt pour le présent. On doit avoir des unités pour la pratique, mais on doit réserver l'avenir et les progrès que fera l'art d'expérimenter.

Il examine le système métrique; il loue l'idée de chercher dans la nature un fondement invariable; il constate que l'événement n'a pas permis de remplir cette partie du programme, et l'on peut douter même si les dimensions du globe terrestre sont invariables.

Le mètre a été et devait être mesuré imparfaitement.

Le mètre actuel est une longueur arbitraire dont un type existe aux Archives.

Le gramme (masse) est fondé sur le mètre et sur les propriétés de l'eau.

L'unité de temps elle-même, la seconde, universellement adoptée, basée sur la longueur du jour, n'est peut-être pas fixe, car la longueur du jour a changé d'une manière appréciable depuis deux mille ans.

Peut-être sera-t-il possible de rattacher la mesure du temps à celle de la gravitation. Mais quant à présent, cette dernière mesure ne peut pas être faite avec une précision suffisante.

Il veut qu'on suive l'exemple de la Commission du mètre, qu'on adopte une résistance fondée sur le mètre, et il recommande l'unité Siemens.

Il loue le système anglais, fondé sur les effets magnétiques des courants. Il critique le *Weber*, qui est dix fois plus grand que l'unité absolue de Weber lui-même. Il approuve l'*Ohm*, qui diffère peu de l'unité Siemens.

Mais l'*Ohm* est inexact comme le mètre; on l'a mesuré avec des moyens puissants et admirables, mais il est différent de sa valeur théorique.

Une exactitude plus grande pourra être atteinte plus tard dans les mesures.

D'ailleurs la résistance des solides peut varier avec le temps sous l'influence du passage des courants. Un liquide vaut mieux; il est invariable dans le temps.

Il veut qu'on ait le moindre nombre possible d'unités arbitraires; le mètre est arbitraire, tout le reste en doit découler. L'unité Siemens est rattachée au mètre et aux propriétés du mercure, comme le poids au mètre et aux propriétés de l'eau.

Les observations magnétiques sont de la plus extrême difficulté et ne sont possibles que dans des bâtiments construits sans fer et avec un système très compliqué d'appareils.

Il croit que les mesures électro-chimiques se faisant par des pesées sont susceptibles de plus de précision.

La question est beaucoup trop compliquée pour qu'on puisse la trancher dans cette assemblée.

Il propose la nomination d'une Commission chargée d'étudier la question.

M. Broch (Norvège) partage l'opinion de M. Helmholtz. Il fait l'examen des étalons du système métrique qui diffèrent l'un et l'autre de leur définition. Il croit à la nécessité d'étalons pour les mesures métriques.

M. Neujean (Belgique) fait valoir les avantages des mesures électrochimiques et croit aux facilités que pourraient donner les piles secondaires pour les mesures de quantité.

M. Eötvös (Hongrie) établit la nécessité d'unités pratiques et d'unités rationnelles. Il indique la nécessité d'étalons faciles à fabriquer ou à reproduire, et trouve cet avantage dans l'unité Siemens. Il reconnaît que, si l'on adopte l'unité Siemens d'une part, et d'autre part le système des unités électro-magnétiques, les calculs ne pourront être faits sans coefficients.

M. Marcel Deprez (France) propose une nouvelle méthode pour mesurer les forces électromotrices, fondée sur l'emploi d'un galvanomètre composé d'une aiguille de fer doux, mobile dans un champ magnétique intense et entourée d'un circuit de résistance constante; pour une différence de potentiel déterminé entre les deux bornes, on aura une déviation fixe. Il annonce qu'il établira prochainement l'invariabilité du champ magnétique entre les pôles d'un aimant puissant.

M. Gordon (Grande-Bretagne) estime que le Daniell est une unité convenable pour de faibles forces électromotrices, mais qu'on ne possède pas d'unités pour les grandes différences de potentiel.

M. Warren de La Rue demande que la discussion ne s'égare par dans les détails, et se propose de répondre à M. Gordon quand le moment sera venu.

M. Everett (Grande-Bretagne) établit qu'il y a deux questions bien distinctes :

1° Celle des définitions théoriques, dans lesquelles il est désirable de n'introduire que le plus petit nombre possible d'unités fondamentales ; or trois unités fondamentales sont nécessaires et suffisantes, par exemple : unités de longueur, de masse et de temps. Si l'on introduit d'autres unités fondamentales, telles que l'unité de résistance, on crée des complications. Ainsi, le calcul du travail dans la résistance du passage d'un courant né-

cessiterait l'emploi d'un coefficient qui est supprimé si l'on se borne à trois unités fondamentales.

2° La question de la construction des étalons, pour laquelle il est d'accord avec M. Siemens, en ce qui touche la forme de l'étalon de résistance.

M. Mascart demande la nomination d'une Commission.

M. le Président est d'avis que la Commission se réunisse dans la journée à deux heures, et propose les noms suivants pour en faire partie :

MM. Clausius, Förster, Helmholtz, Kirchhoff, Siemens (Werner), Wiedemann. — Allemagne;
Arantave. — Espagne;
Becquerel, Jamin, Blavier, Joubert, Lévy (Maurice), Lippmann, Mascart, Raynaud. — France;
Abel, Adams, Ayrton, Everett, Foster, Gordon, Hopkinson, Moulton, Preece, Rayleigh, Siemens (C.-W.), Spottiswoode, Sir William Thomson. — Grande-Bretagne;
Rowland. — États-Unis;
Eötvös. — Hongrie;
Govi, Rosetti. — Italie;
Broch. — Norvège;
Bosscha. — Pays-Bas;
Lenz, Stoletow. — Russie;
Wartmann. — Suisse.

La Commission est ainsi constituée et convoquée pour deux heures.

La séance est levée à onze heures quarante-cinq minutes.

DEUXIÈME SÉANCE

17 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

La séance est ouverte à neuf heures quarante minutes.

Lecture est donnée du procès-verbal, qui est adopté.

M. LE PRÉSIDENT propose de mettre à l'ordre du jour la troisième question du programme, concernant la physique du globe, le magnétisme terrestre et l'électricité atmosphérique.

La proposition est adoptée.

M. MASCART (France) communique une lettre de M. le Président de la Commission polaire internationale, sur l'observation des courants accidentels dans les fils télégraphiques. (Voir Annexe I, page 169.)

Les expéditions dont le programme a été préparé par cette Commission doivent faire des observations continues, à certains jours fixés comme termes, 1er et 15 de chaque mois, et il est à désirer que les observations des courants terrestres soient faites dans les mêmes conditions et auxdits jours sur les principales lignes télégraphiques.

M. MERCADIER remarque que la question figure au projet de programme de la deuxième Section.

M. FÖRSTER (Allemagne) fait savoir que l'*Elektrotechnisches Verein* de Berlin a commencé déjà des études sur cette question et propose que la Commission polaire soit chargée de préparer un plan d'entente internationale.

M. DOS SANTOS VIEGAS (Portugal) dirige l'Observatoire magnétique de Coïmbre. Il emploie les méthodes de Gauss avec les modifications de Lamont et à l'aide d'instruments recommandés par l'Observatoire de Kew. Il propose que, par une entente commune, on détermine :

1° La nature des phénomènes à observer;

2° Le choix des appareils.

M. Ayrton (Grande-Bretagne) propose une méthode pour décider si l'électricité atmosphérique est due à une électrisation du globe ou à l'existence de masses électriques extérieures dans l'atmosphère.

Il demande en outre si l'on peut établir une relation entre les courants terrestres des lignes télégraphiques et l'électricité atmosphérique.

M. Helmholtz (Allemagne) répond qu'il est certain que la surface de la terre est électrisée négativement; c'est une conséquence nécessaire de l'existence d'une force électrique dans l'air au voisinage du sol.

Mais la méthode proposée par M. Ayrton ne permet pas de résoudre le problème qu'il s'est proposé. Si l'air est électrisé, la méthode pourra en faire connaître l'électrisation.

Sir William Thomsom (Grande-Bretagne) veut répondre seulement sur la forme dubitative employée par M. Helmholtz touchant la charge électrique de l'air. Il est prouvé que les masses d'air, même sans nuage, exercent une influence sur la différence de potentiel entre un point et le sol, et produisent des variations rapides. Il fait remarquer que, si les changements observés sont les mêmes en deux points éloignés l'un de l'autre, par exemple de 20 kilomètres, il en résulte que les causes sont lointaines.

Pour éclaircir la question, il croit nécessaire de faire des observations en ballon et d'employer deux explorateurs à écoulement, à une distance verticale de dix pieds l'un de l'autre au-dessous de la nacelle, et reliés aux deux plateaux d'un électromètre portatif.

Quant à la cause de l'électrisation de l'air, on peut la trouver dans les décharges qui ont lieu par les aspérités du sol et par les arbres, qui perdent l'électricité négative du sol.

On peut estimer la différence de potentiel, entre le sol et une hauteur de 100 pieds, à 2,000 ou 3,000 volts. Il en résulte à la surface du sol une couche électrique assez forte pour expliquer l'électrisation de l'air par les pointes.

M. Helmholtz dit que la forme dubitative qu'il a employée n'implique pas qu'il doute de l'existence de l'électricité négative dans l'air, car il a vu les expériences de Sir William Thomson, à Glasgow, et des expériences de même genre ont d'ailleurs été faites dans son propre laboratoire.

Il craint que l'observation de l'électricité atmosphérique ne rencontre de grandes difficultés dans la rapide variation de la différence du potentiel entre deux points fixes. La détermination de l'état moyen ne semble donc pas pouvoir se déduire des observations.

M. Everett (Grande-Bretagne) présente quelques observations d'ordre théorique.

Il annonce qu'on a fait à Kew d'importantes observations photographiques d'électricité atmosphérique, qui vont être publiées par l'Association britannique.

M. Warren de la Rue (Grande-Bretagne) informe la Section, au nom de M. Smith, que le Conseil météorologique de Londres organise des observations en ballon par la méthode de Sir William Thomson. Quant à l'électromètre de Kew, dont il a été question, il a été étalonné avec la pile au chlorure d'argent.

M. Mascart apporte quelques faits à l'appui de ce qu'a dit Sir William Thomson. Il a trouvé qu'une hauteur de 10 mètres peut, par des temps parfaitement sereins, donner des étincelles de 2 millimètres. Il a fait des observations simultanées entre deux points distants de 3 kilomètres, et, dans ces conditions, au moins par les temps peu agités, il a constaté une concordance parfaite dans les variations.

Il exprime l'opinion qu'en dépit de la rapidité des variations, le phénomène peut être enregistré par la photographie et qu'il est facile d'en déduire les valeurs moyennes.

Sir William Thomson exprime le désir que des observations soient faites à une plus grande distance.

M. Mascart répond qu'il organise des observations simultanées entre Paris et l'Observatoire du Parc-Saint-Maur à plus de 20 kilomètres.

M. Rowland (États-Unis), par l'organe de M. Mascart, insiste sur l'importance d'observations internationales simultanées et rapportées à des mesures absolues sur l'électricité atmosphérique. (Voir Annexe II, page 170.)

M. Mascart communique également une note de M. Adams, qui demande qu'on fasse des observations magnétiques dans un plus grand nombre de points, et particulièrement dans la Sibérie orientale, au cap de Bonne-Espérance, au cap Horn et en diverses stations de l'hémisphère Sud.

M. Adams (Grande-Bretagne) a pu constater qu'un orage magnétique, étudié en Chine et en plusieurs points de l'Europe, a mis en évidence la simultanéité des variations de la composante horizontale. (Voir Annexe III, page 173.)

M. Mascart donne lecture des vœux suivants, qui sont mis aux voix et adoptés :

1° Que des mesures soient prises par les différentes administrations télégraphiques afin d'organiser une étude systématique des courants terrestres, sous le patronage d'un comité international ;

2° S'il n'est pas possible d'obtenir à bref délai une pareille organisa-

tion générale, il est à désirer qu'au moins des observations soient faites aux jours termes spécifiés par la Commission polaire internationale à l'époque de ses expéditions.

M. Rowland propose le vœu suivant, qui est aussi adopté :

3° Qu'une Commission internationale soit chargée de préciser les méthodes d'observation pour l'électricité atmosphérique, afin de généraliser cette étude à la surface du globe.

La séance est levée à onze heures vingt minutes.

ANNEXE I

COMMISSION POLAIRE INTERNATIONALE.

Saint-Pétersbourg, ce 19/31 août 1881.

A Monsieur le Président du Congrès international des Électriciens à Paris.

Monsieur,

La Conférence polaire internationale réunie à Saint-Pétersbourg au commencement du mois d'août a trouvé, en conséquence de ses délibérations, qu'il serait d'une grande importance que, pendant la durée des expéditions polaires en 1882 et 1883, les courants électriques dans les lignes télégraphiques soient observés partout aux jours termes et de même en général lors des tempêtes magnétiques. Elle a donc prié ses membres de faire des démarches dans ce sens près des administrations des télégraphes de leurs pays respectifs et chargé en outre son président de porter cette proposition à la connaissance du Congrès international des Électriciens, qui doit se réunir à Paris au mois de septembre de cette année.

En m'adressant donc, au nom de la Conférence polaire internationale, à votre Congrès pour le prier de vouloir bien accorder son appui à cette proposition et contribuer par son autorité à ce que ces observations soient faites dans tous les pays, je crois superflu d'entrer dans les détails de cette question et de motiver devant vous la demande de la Conférence polaire.

On ne peut douter que les observations magnétiques ainsi que celles des aurores polaires qui seront faites aux stations à ériger dans les régions arctiques de concert avec les observations des courants électriques terrestres contribueront beaucoup à éclaircir la nature de ces derniers. Des recherches qui promettent la solution d'une question électrique aussi importante pour la tech-

nique que pour la science, ne pourront manquer d'intéresser une assemblée d'électriciens de tous les pays.

Je vous prie donc, Monsieur le Président, de vouloir bien porter à la connaissance du Congrès la demande de la Conférence polaire internationale.

Agréez l'assurance de ma considération distinguée.

WILD.

ANNEXE II

DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

NOTE DE M. ROWLAND.

Parmi les sujets à discuter dans ce Congrès, se trouve celui de l'électricité atmosphérique, et je veux ici, aussi brièvement que possible, insister devant le Congrès sur la valeur d'une série d'expériences générales et précises faites en même temps sur une partie aussi étendue que possible de la surface terrestre. A la vérité, çà et là sur le globe, un observateur a, de temps à autre, exécuté une série d'expériences analogues, même pendant plusieurs années, mais les divers observateurs n'ont pas opéré de concert, leurs instruments n'ont pu être comparés entre eux, et même dans les cas où on a obtenu des mesures absolues, on n'a pas vu la signification exacte de la quantité mesurée. Prenons, par exemple, l'appareil à écoulement d'eau de Sir W. Thomson, dont on se sert à l'observatoire de Kew. Cet appareil se compose d'un tube qui sort de quelques pieds de l'édifice, et d'un autre situé à peu de distance du sol, de sorte qu'il se trouve dans l'angle formé par la maison et le sol. Cet appareil indique une variation diurne dans l'électricité atmosphérique, mais le résultat est évidemment compliqué par les conditions de l'expérience. Un autre observateur qui installerait un appareil dans un autre pays pourrait obtenir des conditions toutes différentes, de sorte qu'il serait impossible de comparer les résultats. De là nécessité d'avoir un système.

Le principal but des recherches scientifiques est de pouvoir comprendre plus complètement les lois de la nature, et on y arrive généralement en rapprochant les observations de la théorie. Dans les sciences pures, les observations et les expériences n'ont de valeur qu'autant qu'elles reposent sur une théorie, soit dans le présent soit dans l'avenir. Nous ne pouvons encore présenter qu'une théorie plausible de l'électricité atmosphérique, mais le vrai moyen d'arriver à la vérité dans ce cas est de se laisser guider dans les expériences à venir par celles qu'on a faites jusqu'ici sur cette matière. Le principal fait qu'on a découvert peut s'énoncer en peu de mots. Par un temps serein le potentiel augmente à mesure qu'on s'élève, au moins pour certaines parties de l'Europe, et il existe une variation diurne et annuelle de cette quantité que la présence des brouil-

lards fait aussi varier. Les premiers observateurs avaient une tendance à attribuer l'électricité atmosphérique à l'évaporation de l'eau, et une vieille expérience qui consistait à faire tomber une boule de platine portée au rouge dans de l'eau placée sur un électromètre à feuille d'or, était censée confirmer cette manière de voir. Même dans ces derniers temps, un éminent physicien enseignait cette opinion dans le cas des orages électriques. Mais lorsqu'on fait ainsi tomber une boule de platine dans de l'eau, la commotion excessive ainsi occasionnée donnera certainement de l'électricité, mais quant à attribuer cette électricité à l'évaporation, cela pourrait bien être une erreur. Il est vrai que de temps en temps un météorite porté au rouge peut tomber dans la mer, reproduisant ainsi l'expérience du laboratoire, mais la plus grande partie de l'eau qui s'évapore est parfaitement calme. Dernièrement un de mes élèves s'est servi, sous ma direction, d'un électromètre à quadrant de Thomson pour étudier cette question, et bien qu'il ait fait évaporer de grandes quantités de liquides différents, il ne découvrit aucune trace d'électrisation. J'espère ainsi démontrer d'une façon concluante que l'électricité de l'atmosphère ne peut pas provenir de l'évaporation.

Sir W. Thomson pense que les expériences qui ont été faites jusqu'ici indiquent que la terre est chargée négativement. Cette conclusion donnerait certainement l'explication de toutes les expériences faites jusqu'ici en Europe, mais le seul moyen d'arriver à la certitude sur ce point est d'exécuter sur toute la surface du globe une série d'expériences; c'est ce moyen que je propose aujourd'hui. Cette série d'expériences fournirait des données pour déterminer non seulement le fait du magnétisme terrestre, mais aussi, à l'aide du théorème de Gauss, la quantité de la charge sur la partie solide de la terre; cependant cette quantité ne peut être déterminée pour l'atmosphère supérieure. Ce qu'il nous faut connaître, c'est la loi de la variation du potentiel électrique à mesure qu'on s'élève, sur toute la surface de la terre et à la même heure, de manière qu'il soit possible d'obtenir l'intégrale du potentiel sur la surface de tout le globe. Si la terre recevait jamais une augmentation de charge provenant soit de l'extérieur, soit de l'atmosphère supérieure, on la connaîtrait. Dans la discussion que j'ai faite devant la Société de physique de Londres, de la théorie de MM. Ayrton et Perry sur le magnétisme terrestre, j'ai donné à la fin de mon mémoire un exposé rapide d'une théorie récente relative aux aurores boréales et aux orages, laquelle se basait sur l'hypothèse de l'électrisation de la terre. Après avoir mûrement réfléchi, je désire vous présenter cette théorie, qui est digne d'attention, en développant un système d'expériences internationales sur l'électricité atmosphérique.

Supposons que l'explication de Sir W. Thomson soit juste et que la terre soit chargée d'électricité; examinons alors ce qui arriverait. Si la terre n'était pas soumise à des causes de perturbations, une partie de l'électricité du globe se déchargerait dans l'atmosphère et se distribuerait à peu de chose près d'une manière aussi uniforme que le permettrait la résistance de l'air. L'atmosphère extérieure ainsi chargée se mettrait en mouvement et donnerait des vents produits par les répulsions électriques, et cela jusqu'à ce que l'électricité fût distribuée d'une manière uniforme sur la terre et dans la couche extérieure de l'atmosphère; alors tout rentrerait dans le repos. Un observateur placé sur la terre n'aurait aucune idée de la charge de l'atmosphère extérieure, mais il découvrirait celle de la terre au moyen des instruments dont on se sert ordinairement pour les expériences sur l'électricité atmosphérique, comme les flèches de Bec-

querel et l'appareil à écoulement d'eau de Thomson. Il y aurait un autre effet qui ne pourrait cependant être mesuré par les observateurs placés sur la terre; ce serait l'extension de l'atmosphère au delà des limites déterminées par le calcul. L'air raréfié étant électrisé se repousserait, et il se pourrait alors qu'il y eût dans l'atmosphère extérieure une région dans laquelle la pression varierait très légèrement en montant beaucoup. Les aurores boréales et les météores nous ont appris que l'atmosphère s'étendait à des distances bien plus grandes que celles indiquées par la formule logarithmique de Newton, mais je pense que ce que j'ai dit est la première explication raisonnable de ce fait.

Observons maintenant ce qui arriverait si la terre dont nous parlons était soumise aux causes de perturbations que nous avons sur notre globe; les plus importantes de ces perturbations sont les vents et la circulation atmosphérique générale. Cette circulation porte constamment l'atmosphère de l'équateur aux pôles, mais d'une manière très peu uniforme. Cependant il doit y avoir vers les pôles un plus grand nombre de points où l'air descend vers la terre et se dirige ainsi vers l'équateur. Or un corps mauvais conducteur, comme l'air, lorsqu'il est chargé, tend à emporter sa charge avec lui partout où il va, et ainsi l'air porte sa charge jusqu'au moment où il descend vers la terre; alors il l'abandonnera dans l'atmosphère extérieure, en raison de la tendance de l'électricité à rester à la surface des corps chargés. La charge s'accumulera donc à l'extérieur jusqu'à ce qu'il y ait une grande tension; l'atmosphère se déchargera alors soit vers la terre, soit à travers l'air raréfié sous forme d'aurore boréale. En ces points, l'air raréfié doit probablement s'entasser jusqu'à une plus grande hauteur qu'autre part, ce qui expliquerait la grande hauteur à laquelle on observe quelquefois les aurores boréales.

L'équilibre qui existait auparavant à l'équateur serait aussi détruit par l'absence de la charge primitive dans l'atmosphère extérieure sur ce point, et la terre aurait une tendance à se décharger vers l'atmosphère extérieure. Par suite de la différence des conditions sur ce point, cette tendance pourra se manifester par les orages qui éclatent le plus souvent dans les régions équatoriales. Ainsi l'électricité terrestre aurait une tendance à suivre la même circulation que l'air, de l'équateur au pôle et réciproquement.

Mais je n'ai pas l'intention d'insister ici sur cette théorie; je veux simplement faire ressortir, avec son aide, l'importance qu'il y a à établir dans toute l'étendue du globe un système d'observations générales sur l'électricité atmosphérique. Quand bien même la théorie serait fausse, ce n'est que par l'observation que l'on pourra arriver à la vérité. A mon avis, il est presque indigne de l'état avancé de nos sciences actuelles, que nous soyons dans l'impossibilité pour le présent d'indiquer avec précision la source de l'énergie qui se manifeste dans les aurores boréales et les orages. J'ai fait remarquer plus haut, en effet, que l'on devait renoncer à expliquer ces phénomènes par l'hypothèse de la production de l'électricité par l'évaporation.

Je propose donc de former dans cette section du Congrès un comité chargé d'examiner les mesures à prendre pour établir sur toute la terre, et particulièrement dans les régions polaires, un système de séries d'observations sur l'électricité atmosphérique.

ANNEXE III

OBSERVATIONS SUR LES PERTURBATIONS MAGNÉTIQUES ET LES COURANTS TERRESTRES

PAR M. WILLIAM GRYLLS ADAMS
De la Société royale de Londres.

De la discussion des premières observations sur les courants terrestres et les changements magnétiques, M. Lamont et M. H. Lloyd avaient conclu que les variations de l'aiguille de déclinaison ne peuvent pas être dues à l'action directe du courant électrique qui parcourt la croûte terrestre, mais que ces courants ou ondes s'étendant à une profondeur considérable, modifient par induction le magnétisme de la terre elle-même, et que cette modification du magnétisme terrestre cause les variations de l'aiguille de déclinaison que l'on a observées. Les courants terrestres ont été attribués à différentes causes : ainsi M. Lamont les regarde comme résultant de la force électrique qui émane du soleil ; de Saussure croit qu'ils sont développés par l'évaporation, la vapeur étant chargée positivement et l'eau négativement; M. Lloyd les regarde comme des effets de la chaleur solaire, tandis que M. de La Rue les attribue à des actions chimiques qui se passent à l'intérieur de la croûte solide de la terre; l'électricité serait alors transportée dans l'atmosphère par l'évaporation. Des recherches récentes ont démontré qu'il y a un rapport intime entre l'activité solaire et les variations diurnes régulières du magnétisme terrestre, et qu'il y a probablement dans l'intensité horizontale une période égale au temps que met le soleil à tourner sur son axe. On a aussi démontré que les variations magnétiques régulières dépendent en partie de la lune, et il semble qu'il y ait des courants terrestres lunaires dus à l'action de la lune, aussi bien que des courants terrestres solaires. Se peut-il que ces courants terrestres lunaires soient dus à des marées déterminées par la lune dans la croûte solide de la terre ou dans la terre regardée comme un solide élastique? La terre est composée de matières élastiques susceptibles d'abandonner et de modifier leur forme sous l'action du changement de direction de l'attraction que la lune exerce sur elles. Quelques-unes de ces matières sont fortement magnétiques, de sorte que, lorsque leur forme se modifie, ce fait donne naissance à des courants électriques induits ou courants terrestres. Imaginons un conducteur électrique extérieur à la terre et allant depuis le pôle nord jusqu'à l'équateur, et supposons fixé dans l'espace un corps magnétique se mouvant au-dessous de la terre de l'ouest à l'est; alors, d'après les lois de Faraday sur les courants induits, la révolution de la terre sur son axe déterminera dans le conducteur immobile un courant allant du pôle à l'équateur. Si le conducteur se mouvait à la surface de la terre de l'ouest à l'est, et si la terre ne tournait pas ou tournait plus lentement, alors le courant dans le conducteur serait dirigé de l'équateur au pôle, puisque ce courant dépend du mouvement

relatif de la terre et du fil. Si nous avons alors un fil isolé allant du nord au sud, les marées de la croûte terrestre dont j'ai parlé équivaudront à une masse de matière magnétique restant en arrière, et on pourrait ainsi s'attendre à voir se développer dans le fil isolé un courant électrique dont la direction générale irait de l'équateur au pôle.

Le fait observé que les courants terrestres lunaires restent en arrière de la position de la lune s'expliquerait par le retard des marées par rapport à la lune.

En Angleterre, on observe que les courants terrestres réguliers sont maximum dans la direction sud-ouest nord-est, au lieu de la direction sud-nord; mais la position de l'Angleterre par rapport au pôle nord magnétique doit modifier la direction de ces courants.

Il y a quelques années, dans beaucoup d'observatoires européens et autres, on a, d'après un même principe, enregistré par la photographie les éléments magnétiques; on a employé généralement des instruments semblables à ceux dont on s'était servi à l'observatoire de Kew. Dans le courant de l'année dernière, j'ai comparé les courbes pour certaines périodes; j'ai comparé, par exemple, celles obtenues en mars 1879 et pendant une partie d'août 1880 dans des stations très éloignées, à Toronto, Zi-ka-Wei en Chine, et à Melbourne en Australie. Les observations sont toutes ramenées à l'heure de Greenwich et sont placées les unes au-dessus des autres, de sorte qu'on peut immédiatement comparer entre elles les observations réelles des perturbations magnétiques. L'accord entre les observations faites dans des stations très éloignées, à la fois pour les petites et les grandes perturbations, est très remarquable et ressort surtout des observations faites pendant le grand orage des 11, 12 et 13 août 1880, où l'on remarque une grande similitude dans les périodes et les formes des perturbations dans des stations éloignées comme Lisbonne, Coïmbre, Kew, Stonyhurst, Vienne, Saint-Pétersbourg, Zi-ka-Wei en Chine, Melbourne en Australie et Toronto dans le Canada. Les résultats ont été communiqués à l'Association britannique, en 1880 à Swansea et cette année à York; cette communication sera imprimée et on en donnera des tableaux dans les rapports de l'Association britannique, volume de 1880.

Pour que l'étude du magnétisme terrestre à la surface du globe soit plus complète, il est important qu'il y ait d'autres observatoires où l'on enregistre les observations par la photographie, comme on a fait à l'observatoire de Kew. On réclame surtout un observatoire dans la partie orientale de la Sibérie, et deux autres dans l'hémisphère sud, l'un fondé par les Anglais au cap de Bonne-Espérance, et l'autre par les Français, au cap Horn; l'établissement de ce dernier a déjà été décidé au cap Horn. Il est important que celui-ci soit, comme les autres, un observatoire où l'on enregistre les observations par la photographie, car il y a un grand avantage à suivre les mêmes méthodes qu'à Kew. Il y a déjà des observatoires en Chine, à Melbourne, à Toronto ainsi que dans plusieurs colonies européennes. Bombay et l'Ile Maurice sont trop près de l'équateur pour donner des résultats d'une importance aussi grande que ceux fournis par les observatoires situés près des pôles. Il est donc très important d'avoir deux observatoires de première classe dans l'hémisphère sud.

TROISIÈME SÉANCE

19 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à neuf heures quarante minutes.

M. MASCART (France) donne lecture du procès-verbal, qui est adopté.

M. LE PRÉSIDENT propose de mettre à l'ordre du jour la quatrième question du projet de programme : *Paratonnerres. — Discussion des meilleures conditions d'établissement des paratonnerres. — Serait-il possible de réunir les éléments d'une statistique internationale concernant l'efficacité comparative des différents systèmes de paratonnerres en usage?*

M. WARREN DE LA RUE (Grande-Bretagne). D'après des expériences de M. Preece, effectuées dans mon laboratoire, la forme du conducteur (fil, lame, tube, etc.) est sans influence. Les expériences ont été faites avec la pile au chlorure d'argent de 3280 éléments (3378 volts) et un condensateur de 42,8 microfarads. (Voir Annexe I, page 189.)

M. MASCART rappelle que deux systèmes sont en présence : 1° celui de Gay-Lussac, fondé sur l'emploi d'un petit nombre de conducteurs en communication avec des tiges de grande longueur; 2° celui de M. Melsens, où l'édifice est entouré d'une sorte de cage métallique munie de pointes petites et nombreuses; les communications avec le sol sont multipliées.

Quant au partage de l'électricité, il y a lieu de se demander s'il est soumis aux lois de Ohm.

M. MELSENS (Belgique) : Mon système de paratonnerres n'est pas essentiellement différent de celui de tous les physiciens; lorsqu'on étudie tout ce qui a été écrit sur cette question depuis Franklin, on reste convaincu que les bases scientifiques d'aujourd'hui sont celles qui ont été posées dès l'origine; on modifie les détails, mais, en réalité, on n'invente rien, en fait de paratonnerres. — Ceux-ci auront toujours pour but essentiel, en cas de foudroiement, de conduire la foudre au réservoir commun, *la terre;* ils

seront donc composés : 1° d'un organe quelconque, pointe, tige, aigrette ou sphère, qui domine l'édifice ; 2° d'un conducteur métallique, voie ouverte à l'écoulement de l'électricité, de la foudre ; et 3° d'un contact à la terre, destiné à rendre la foudre inoffensive en la distribuant dans le sol.

Nous ne trouverons rien de plus dans toutes les instructions ; arrêtons-nous un instant à l'instruction, si remarquable, de Gay-Lussac ; elle date de 1823 ; elle a été complétée, ou légèrement modifiée, par les instructions de 1854, 1855, 1867 et 1868 ; celles-ci ont toutes reçu la haute sanction de l'Académie des sciences de Paris.

Mais, depuis 1823, les constructions que l'on veut protéger de la foudre ont, par suite de l'emploi du fer, dans les fermes et dans les charpentes, subi des modifications profondes, dont il faut tenir compte. Bien plus, il faut avoir égard aux canalisations métalliques du gaz et de l'eau, introduites souvent jusqu'aux toits, ou jusqu'aux combles des édifices. Cet ensemble de conducteurs métalliques exige que l'on tienne compte de ces circonstances, modifiant profondément les conditions du passage de l'électricité, ou de la foudre.

J'ai discuté la question dans les diverses notes que j'ai publiées sur les paratonnerres ; je crois avoir prouvé la nécessité de rattacher, actuellement, en général, les conducteurs des paratonnerres à ces conduites, indépendamment du puits classique, ou de la terre humide, généralement indispensables.

J'ai cru réaliser, ainsi, un contact à la terre par une surface énorme, en mettant l'édifice à l'abri de coups latéraux, toujours possibles, souvent dangereux.

S'agit-il du choix entre les métaux qui peuvent servir de conducteurs, je me suis franchement prononcé pour le fer galvanisé ; ce métal ne tente pas les voleurs ; j'ai prouvé que, dans des circonstances déterminées, décrites dans mes notes, le fer résiste mieux que le cuivre aux décharges de fortes batteries de Leyde.

Si le fer a l'avantage du bon marché, il a, comme on l'admet encore, en général, le défaut de conduire moins bien que le cuivre et d'offrir à l'écoulement de l'électricité une résistance cinq à sept fois plus considérable que celle du cuivre.

M'appuyant sur des expériences faciles à répéter, j'ai prouvé, dès 1865, ce qui, du reste, est admis par beaucoup de physiciens, que les décharges ne suivent pas toutes les lois de Ohm et que les décharges des batteries, des machines de Holtz et de la grande bobine de Ruhmkorff, passent avec autant de facilité par des conducteurs de fer que par ceux de cuivre, à dimensions égales.

Après une étude attentive d'une foule de documents, lorsqu'il s'est agi de protéger le splendide édifice de l'hôtel de ville de Bruxelles, je me suis décidé à appliquer la maxime ancienne : *Divide ut impera* et au conducteur unique, à forte section, j'ai substitué des conducteurs cylindriques multiples à faible section, variant de 6 à 10 millimètres. En général, aujourd'hui, je conseille les conducteurs multiples en fer galvanisé de 8 millimètres; c'est un excès de précaution. J'ai analysé, dans ma description détaillée des paratonnerres de l'hôtel de ville de Bruxelles, tous les faits de rupture et de fusion de fils minces par la foudre, depuis Franklin jusqu'en 1877; une étude attentive m'a permis de fixer la limite inférieure à moins de 6 millimètres, le conducteur étant, bien entendu, sans solutions de continuité et non disposé sous forme de chaîne d'arpenteur, ou autre.

Mais, à cette question des conducteurs multiples et déliés, il s'en rattachait une autre qu'il était absolument indispensable d'éclaircir par l'expérience : je veux parler du partage d'une étincelle unique entre les divers conducteurs que l'on peut lui présenter. Aussi avais-je, dès 1865, cherché à prouver cette division, avant d'oser appliquer mes idées à la protection de l'hôtel de ville de Bruxelles; j'ai donné une nouvelle série d'expériences, dans cette même direction, en 1875.

J'ai prouvé qu'une étincelle unique se partage entre 390 conducteurs, de fer, de laiton, de cuivre, de zinc et de plomb, dont les diamètres variaient de $0^{mm},08$ à $6^{mm},30$. De plus, dans les fils les plus minces de fer et de cuivre, n'ayant qu'un diamètre de $0^{mm},12$, ayant l'un ou l'autre une longueur de 200 mètres (ce qui augmentait encore énormément leur résistance totale), j'ai pu intercaler un tube en verre d'un mètre de long, renfermant de l'eau distillée, de la terre humide et même du sable parfaitement sec; même, dans ces circonstances très défavorables, j'ai pu constater les manifestations électriques et le passage de la très faible fraction de l'étincelle, unique à l'origine, dans les 390 fils conducteurs.

Ces expériences, que je me suis contenté de signaler et que je compte publier en détail, sous peu, m'ont conduit à une observation importante, au point de vue pratique. En effet, lorsqu'on fait passer des étincelles de fortes batteries dans quelques conducteurs minces en fer, en cuivre, en laiton, etc., isolés les uns des autres sur une certaine longueur, mais communiquant métalliquement entre eux par leurs bouts extrêmes, et que l'étincelle est assez forte pour les rougir, les déformer ou les onduler tous, on voit les ondulations, bizarres parfois, se reproduire dans tous les fils homogènes identiques, d'abord droits et parallèles, de façon à présen-

ter encore un parallélisme parfait, quelque bizarres que soient les ondulations et les courbures produites par le passage des étincelles.

On arrive forcément à cette conséquence, au point de vue des paratonnerres à conducteurs multiples, que non seulement l'étincelle se divise exactement entre tous, mais que les effets mécaniques produits dans l'un d'entre eux se reproduisent très exactement dans tous les autres.

Un mot sur l'emploi des aigrettes, ou des pointes multiples, au lieu des longues tiges préconisées dans les instructions classiques.

J'ai longuement discuté et examiné la question de la multiplicité des pointes dans mes diverses notes et dans ma description des paratonnerres de l'hôtel de ville de Bruxelles; j'ai cité, autant qu'il m'a été possible de le faire, toutes les opinions, *pour et contre* la multiplicité des pointes. Tout bien pesé, j'ai penché du côté de la multiplicité, fût-on porté à admettre, contrairement aux expériences et aux observations de Beccaria, de Cosson, de Toaldo, de Romas, du docteur Lining, de Charles, résumées dans les œuvres d'Arago, que les pointes n'ont pas une bien grande action pour neutraliser l'action des nuages.

D'autre part, il paraît incontestable que la tension est diminuée sur le conducteur, lorsqu'il est armé de pointes multiples.

Ajoutons une dernière considération : la tension sur une pointe étant *infinie*, d'après l'analyse de Poisson, les pointes seront encore utiles dans les cas, peut-être plus nombreux qu'on ne le suppose, où la terre frappe le nuage.

Quoi qu'il en soit, les expériences de Perrot eurent pour résultat de lui concilier l'approbation de savants éminents, qui adoptèrent les pointes multiples.

Mais ici se place une question qui a son importance. En effet, si, comme je l'ai fait à l'hôtel de ville de Bruxelles, je fais usage de quelques grandes pointes dominant tout l'édifice, ailleurs je n'ai employé que des aigrettes de 1 mètre à $1^{m}50$ de hauteur.

Or les longues pointes, ou les hautes tiges, ont été maintenues à la suite de l'adoption de principes inexacts : 1° on admet que la foudre frappe un seul point des sommets des corps foudroyés, tandis que souvent, d'après M. D. Colladon, elle frappe sous forme de nappe, avec un ou quelques centres principaux d'intensité, enveloppant ainsi, en partie, les corps foudroyés; 2° on a admis pendant longtemps qu'une tige protège autour d'elle un espace circulaire d'un rayon double de sa hauteur.

Laissant de côté la première donnée, examinons la dernière seu-

lement; je veux parler de la zone des protections, admise dans ces dernières années.

L'observation a prouvé que cette donnée était erronée. Gay-Lussac, tout en donnant cette règle, admettait déjà certaines restrictions pour les clochers, alors que d'autres physiciens, qui se sont occupés de l'étude des coups de foudre, admettaient que la protection, dans ce cas particulier, s'étendait plus loin.

L'examen des faits a amené, ensuite, à admettre que l'action protectrice est circonscrite dans l'intérieur d'un cône circulaire droit dont la tige du paratonnerre est l'axe et dont le rayon de la base est le double de sa hauteur. Néanmoins *la Commission spéciale, chargée d'étudier l'établissement des paratonnerres des édifices municipaux de Paris,* a admis que, dans une construction ordinaire, une tige protège efficacement le volume d'un cône de révolution ayant la pointe pour sommet et la hauteur de cette tige, mesurée à partir du faîtage, multipliée par 1,75 pour rayon de base (*sic*).

En Angleterre, M. Preece entre autres, restreint encore cette zone de protection, tant par l'observation directe des coups de foudre que par l'analyse physique des phénomènes électriques que les nuages orageux peuvent produire.

J'ignore les motifs qui continuent à faire admettre une *soi-disant* zone de protection, contredite par des observations nombreuses et exactes. Je pense que l'on peut conclure, sans hésitation, que les règles établies sont absolument arbitraires; cette opinion, quelque radicale qu'elle puisse paraître, est basée sur des faits positifs, dûment constatés en France, en Angleterre, en Belgique et en Allemagne. J'ai cité de nombreux exemples dans mes notes, abstraction faite d'un coup de foudre où l'on voit celle-ci passer du sol vers le ciel et les nuages, à travers un carreau de vitre enchâssé dans du fer, en parfaite communication avec un sol très humide; j'ai décrit, avec détail, un coup de foudre sur un paratonnerre *en bon état;* le coup avait atteint l'édifice dans un rayon de base un peu moindre que 1.25.

Mais je me résume : je crois avoir motivé les raisons qui m'ont fait apporter des modifications aux données ordinaires et aux instructions classiques, en assumant la responsabilité de la protection de l'un des plus splendides monuments de la Belgique, mais en l'assumant dans la mesure du possible, actuellement, bien entendu, avec les données acquises.

J'ai été accusé de vouloir, à tout prix, *faire du neuf,* mais je dois insister sur ce fait, que ces modifications m'ont été suggérées par l'étude des travaux de maîtres, tels que ceux auxquels j'ai l'honneur de m'adresser.

Aussi, eu égard à cette seule considération, j'attends avec calme et patience le jugement que l'avenir réserve aux *paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples.*

Un dernier mot : les corps savants, tout comme les individus, ne désirent pas voir leur responsabilité engagée; les instructions nombreuses, parfois concises, souvent peu explicites, laissant même des doutes, donnent des formules générales, à la hauteur de la science et répondant à tous les besoins, au jour de leur apparition; il faut donc, *aujourd'hui,* faire attention aux circonstances nouvelles, *actuelles;* c'est ce que j'ai cherché à faire.

Si tout est simple quand il s'agit de données générales, tout au contraire devient un motif de crainte ou de doute, quand il s'agit d'un cas spécial, bien défini, tel qu'un monument important. On ne doit pas se contenter du *recours facile* de renvoyer la responsabilité à tous les physiciens illustres qui ont traité la question des paratonnerres depuis Franklin, et qui ont donné des instructions. Quand, ainsi que j'ai été obligé de le faire, on discute les opinions des autorités les plus respectables, les plus respectées comme les plus illustres, ce n'est pas sans une vive émotion qu'on arrive parfois à ne pas partager *absolument* tous les avis des maîtres de la science.

C'est une émotion pareille que je ressens, dans ce moment même, en cherchant, devant cette imposante assemblée, composée des représentants les plus illustres de la science, venus ici de toutes les parties du monde, dans le seul intérêt de la recherche de la vérité, à motiver les dispositions particulières nouvelles que j'ai cru pouvoir introduire dans les trois organes des paratonnerres.

M. le Président demande à M. Melsens, au nom de la Section, de faire une conférence sur ce sujet.

M. Melsens se met à la disposition du Congrès.

M. Helmholtz : Sur l'invitation du gouvernement allemand, l'Académie de Berlin s'occupe actuellement de la question des paratonnerres. Elle a constaté que beaucoup des anciens paratonnerres étaient défectueux, par suite d'une mauvaise communication à la terre : les conducteurs ne s'enfonçaient que de 1, 2 ou 3 pieds dans le sol. L'Académie de Berlin recommande d'établir cette communication à l'aide de larges plaques, ou de longs conducteurs en fils de fer étalés horizontalement à une profondeur de 3 mètres, si la chose est possible, et allant retrouver des fontaines, puits ou nappes d'eau.

Dans les grandes villes, il est excellent de mettre à profit les tuyaux d'eau; quant aux tuyaux à gaz, ils n'offrent point une égale sécurité, leurs

joints étant quelquefois formés d'une matière isolante qui enlève à la canalisation du gaz une bonne partie de sa conductibilité.

Pour ce qui est des lois de Ohm, les décharges de la foudre et des grandes bouteilles de Leyde n'y sont pas soumises. C'est au moins ce qui paraît résulter d'expériences faites par M. le docteur W. Siemens et répétées avec quelques modifications par un de mes élèves, M. Olearski.

En effet, soient (fig. 16) une bouteille de Leyde A, un conducteur BC placé en face de la boule A, et un conducteur DHG dont l'extrémité D peut être approchée micrométriquement de C. BC est en communication avec une plaque E et DHG avec une plaque F; E et F sont plongées dans un liquide permettant, par le rapprochement ou l'éloignement des deux plaques, d'établir entre elles une résistance variable. On peut ainsi étudier la relation entre la distance explosive CD et la résistance EF : quand on provoque la décharge de la bouteille, il faut, pour ne pas avoir d'étincelle entre C et D, rendre très petite la distance EF ; le liquide doit en outre être bon conducteur ; sans cela, on est conduit à donner aux plaques E et F des dimensions trop considérables. Mais, en outre, si l'on fait varier les résistances BC, DH, BE, EF, on remarque le fait suivant : l'étincelle éclate entre C et D pour une certaine valeur d'une de ces résistances, cesse d'éclater pour une valeur un peu supérieure, puis reparaît quand on augmente encore, et ainsi de suite. Il semble donc y avoir, au sein des conducteurs, des oscillations électriques par suite desquelles le maximum momentané de différence de potentiel entre C et D change de valeur avec les résistances et se trouve tantôt suffisant, tantôt trop petit pour amener l'étincelle.

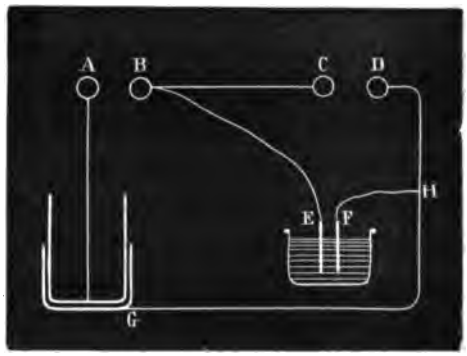

Fig. 16.

Si BC est un paratonnerre et DH une pièce métallique d'un édifice, il pourra se produire des phénomènes analogues.

Il importe donc non seulement d'assurer une parfaite communication entre le paratonnerre et le sol, mais encore de relier au paratonnerre les pièces métalliques des constructions à protéger.

Le premier fait connu qui ait indiqué l'existence des oscillations fut la production des différences dans l'aimantation rémanente que l'on constata pour une aiguille d'acier, quand on décharge une bouteille de Leyde

(fig. 17) à travers un circuit dont fait partie un solénoïde entourant l'aiguille : l'aimantation change de sens quand le circuit varie de résistance.

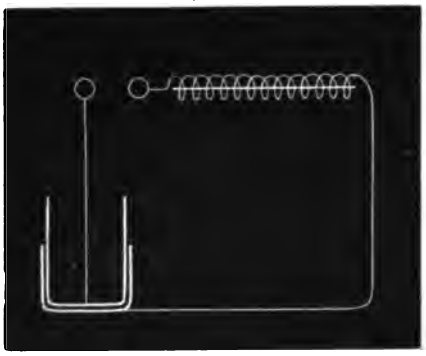

Fig. 17.

On peut encore faire l'expérience suivante : soit (fig. 18) AB un condensateur dont les deux armatures sont reliées par l'intermédiaire d'une bobine qui représente un circuit secondaire, le circuit primaire étant formé de la bobine EF et de la pile P.

Supposons l'interrupteur H fermé; si on ouvre l'interrupteur G, il va y avoir induction de EF sur CD et ce courant d'induction dans CD va charger le condensateur d'une certaine façon, A + et B —, par exemple. Mais si H reste fermé, le condensateur va se décharger à travers la bobine CD; mais l'induction dans la bobine CD elle-même recharge le condensateur en sens inverse, B +

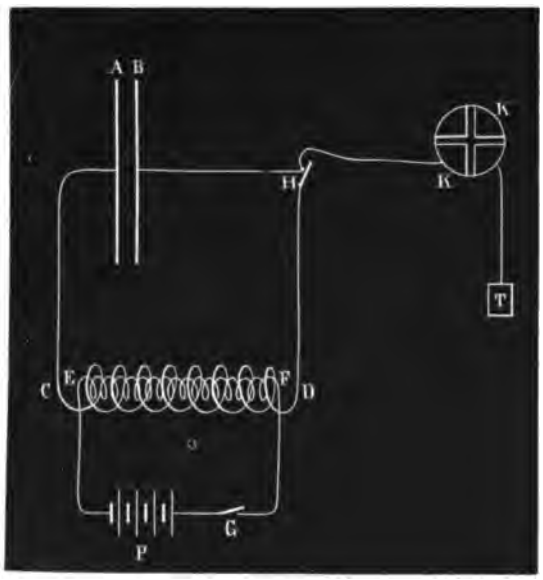

Fig. 18.

et A —, et ainsi de suite; j'ai trouvé que l on avait parfois jusqu'à 40 charges successives en sens inverse, d'une intensité de moins en moins grande. Quant au moyen de le constater, il est des plus simples : on n'a qu'à relier BH à une paire K de quadrants d'un électromètre : suivant

le temps au bout duquel on ouvre l'interrupteur H, on trouve l'armature B chargée positivement ou négativement.

Revenons aux paratonnerres. Jusqu'ici, quand il y a accident, on ne peut guère savoir s'il y a faute dans le paratonnerre.

Je demande qu'il soit établi une bonne statistique des accidents avec documents précis sur la construction des paratonnerres frappés. Une commission me paraît nécessaire pour centraliser les renseignements, parce que dans les différents pays on a employé des constructions différentes de paratonnerres; mais le travail de cette commission ne peut être fructueux que si les gouvernements consentent à prêter leur concours.

M. Edmond Becquerel (France) appuie la demande que vient de faire M. Helmholtz, de voir se former une commission destinée à réunir les documents et à vérifier les paratonnerres. Une commission analogue est déjà en plein fonctionnement à Paris, pour la vérification et la surveillance des paratonnerres de la Ville.

Dans les premières instructions de l'Académie des sciences de l'Institut de France, en 1823, l'importance d'une excellente communication avec le sol n'était peut-être pas suffisamment mise en relief. Dans les nouvelles instructions, la commission de l'Académie a insisté particulièrement sur ce point et a appuyé sur la nécessité de mettre à profit le plus largement possible la couche aquifère.

Dans les dernières années, l'idée d'employer les conduites d'eau a été favorablement accueillie, comme donnant une communication plus parfaite entre les tiges des paratonnerres et la terre; cependant on ne peut adopter de règle générale à cet égard, car, suivant les pays, les installations de ces conduites sont différentes et la communication avec la terre est plus ou moins efficace; ainsi, à Paris, les conduites d'eau sont placées dans les égouts et, en cas de réparations, elles peuvent devenir pour ainsi dire isolées; en outre, ces conduites sont revêtues parfois d'enduits bitumineux isolants. Pour les conduites de gaz, les avis ont été partagés et la question assez complexe reste encore à examiner.

Il importe, au reste, de distinguer dans les paratonnerres deux actions : l'action préventive, l'action préservatrice.

Dans les paratonnerres établis d'après les instructions académiques françaises de 1823, la pointe était disposée en vue de la prévention. Or il semble que, même avec des pointes multiples, l'action préventive soit minime; car la quantité d'électricité qui se trouve dans le nuage orageux est tellement grande, par rapport à celle qui peut être neutralisée avec l'aide

des pointes, que l'effet préventif de celles-ci semble devoir être presque insignifiant.

L'attention, dès lors, se reporte sur la préservation. L'angle du cône qui termine la pointe du paratonnerre est déjà beaucoup plus ouvert dans les dernières instructions que dans celles de 1823. Quelques membres de la Commission ont même pensé qu'une tige conductrice sans pointe suffisait. Quant à la section du conducteur de fer qui doit relier le paratonnerre à la nappe aquifère, la Commission de 1823, dont Gay-Lussac était rapporteur, avait indiqué comme section suffisante une section de 225 millimètres carrés; ce n'est que postérieurement que Pouillet, tout en disant que cette section pouvait suffire, proposa de l'élever à 325 et même à 400 millimètres carrés, pour donner toute sécurité possible à la conductibilité [1].

Les conditions fixées aujourd'hui semblent bonnes et suffisantes; c'est au moins la conclusion qui ressort d'un certain nombre de rapports administratifs communiqués à la Commission de l'Académie; comme conclusion de ces rapports, il résulte que lorsque les instructions de l'Académie ont été exactement suivies, il y a eu préservation complète contre les dégâts de la foudre, et que les accidents qui ont pu se produire ont toujours été motivés par des écarts à ces instructions.

Le système de paratonnerres que l'on peut, en opposition avec la dénomination de système à conducteurs multiples, appeler système à conducteurs simples, suffit donc à la protection des édifices, quand l'installation est bien faite.

Dans les environs de Toulon, la foudre est tombée trois fois en une demi-heure sur le même point. Un conducteur unique a bien résisté; en aurait-il été de même pour un paratonnerre à conducteurs multiples, dont un coup de foudre peut fondre l'une des parties, puisque la section de ces conducteurs est moindre? La protection, dans un cas de foudre triple comme le précédent, serait-elle aussi efficace?

Quant aux bâtiments dépendant de l'Administration de la guerre (poudreries, etc.), ne doit-on pas craindre, par la multiplicité des conducteurs, de faciliter les décharges provenant de phénomènes d'induction électro-statique?

M. Mascart donne l'analyse d'une communication de M. Adams

1. Voir, Instruction sur les paratonnerres adoptée par l'Académie des sciences de l'Institut de France, le 23 avril 1823; le supplément adopté dans la séance du 18 décembre 1854 et inséré dans les comptes rendus, tome XXXIX, page 1142; les instructions adoptées dans les séances du 19 février 1855, du 15 janvier 1867 et du 20 juillet 1868.

(Grande-Bretagne) sur une enquête de la Société météorologique de Londres; cette communication est annexée au présent compte rendu (Annexe III, page 192).

M. Preece (Grande-Bretagne) fait connaître que d'après les documents qui lui sont parvenus, il croit pouvoir énoncer la règle suivante : *Un paratonnerre protège absolument un espace solide limité par une surface de révolution dont la demi-courbe méridienne est constituée par un quart de cercle de rayon égal à la hauteur du paratonnerre et tangent : 1° à celui-ci à son extrémité supérieure; 2° à l'horizontale passant par sa base.*

M. Helmholtz fait connaître que les instructions de l'Académie de Berlin sont, à fort peu de chose près, les mêmes que celles de l'Académie des sciences de Paris; cependant la section du conducteur indiquée par l'Académie de Berlin est à peu près la même que la première section de 225 millimètres carrés recommandée par l'Académie des sciences de Paris.

M. Helmholtz suggère une explication de la foudre. On remarque, dans les tempêtes violentes, que souvent les coups de foudre sont suivis d'une pluie abondante. Il y a là une curieuse coïncidence qui semble établir une corrélation entre les deux phénomènes. Peut-être arriverait-on à se rendre compte des traits essentiels de la façon suivante : La terre constitue un conducteur électrisé : la vapeur d'eau qui l'abandonne est chargée d'électricité négative; tant qu'elle reste à l'état gazeux, elle forme un corps isolant. Quand la vapeur d'eau se condense, sur un corps métallique par exemple, elle lui cède son électricité. Non condensée, la vapeur d'eau garde son électricité; condensée, elle donne naissance à des molécules conductrices qui peuvent se céder leur électricité ou la céder à la terre. Quand cette masse de pluie, en descendant, arrive à une distance suffisamment petite de la terre ou d'un bâtiment, elle peut donner lieu à un coup de foudre.

Si les choses se passent de cette manière, le temps de la descente est beaucoup trop court pour laisser place à une décharge silencieuse d'importance notable.

Quant à la question des fils multiples, M. Helmholtz est d'avis que l'opinion de M. Melsens a de véritables fondements théoriques. Chaque fil voisin d'un autre donne lieu à des phénomènes d'induction; ceux-ci provoquant l'élévation du potentiel électro-dynamique de l'un des fils en particulier, le rendent capable de s'opposer plus fortement à une décharge, rendent moins facile une décharge opérée par son intermédiaire. Cet effet augmente si les fils sont plus rapprochés; c'est pour cela qu'un conduc-

teur unique qui peut être considéré comme la réunion de plusieurs fils élémentaires, donne une résistance beaucoup plus grande que ne la donneraient ces mêmes fils séparés les uns des autres.

M. Helmholtz croit donc justes les idées de M. Melsens; mais il est d'avis qu'on doit tenir compte du prix de revient; car du jour où l'on aurait des paratonnerres peu coûteux, on les verrait se multiplier.

M. Melsens établit, par des prix de revient de quelques paratonnerres établis en Belgique, les avantages économiques de son système ; il prouve, par des devis liquidés, que le rapport des prix des paratonnerres de son système, comparé à celui des anciens systèmes, est comme 1 à 6 ou 7 en moyenne, et même 1 à 20.

Il cite les exemples suivants :

Une ferme, ayant un développement de toits dépassant 320 mètres, a été garnie d'un paratonnerre à pointes et à conducteurs multiples : on a employé du fil de fer galvanisé de 6 à 7 millimètres de diamètre et 37 aigrettes façonnées de ce même fil; on a ménagé 7 contacts à la terre, plus 2 avec une nappe d'eau et 2 avec des puits. Ce paratonnerre a coûté environ 400 francs (exactement 390 fr. 10 c.) ; mais comme tout a augmenté de prix, doublons ce chiffre, pour tout exagérer; on n'arrive cependant encore qu'à une dépense de 800 francs.

Pour un édifice d'un autre genre, la Bourse de Bruxelles, on a, pour une surface couverte de 3,200 mètres carrés à peu près, été conduit à une dépense de 1,496 fr. 65 c., dans la pose d'un paratonnerre à pointes et conducteurs multiples. (Voir Annexe III, page 196.)

D'après la moyenne des essais, la protection d'un mètre carré par un paratonnerre de ce système revient à 75 centimes environ.

Quant à l'objection soulevée par l'honorable M. Becquerel, il fait observer que, tout en connaissant l'*avis* de la Commission des paratonnerres de l'Académie des sciences *sur une disposition nouvelle proposée pour le magasin à poudre*, en date de juin 1875, admettant que la multiplicité et la dissémination des conducteurs *paraissent* favorables aux étincelles par décharges latérales, on n'a pas craint en Belgique d'adopter son système pour la Poudrerie royale de Wetteren et pour tous les bâtiments, magasins et ateliers de cette poudrerie.

J'ose soutenir, dit M. Melsens, que, pour les magasins à poudre, mon système est plus efficace que l'ancien. Je n'ai pas hésité à le présenter pour la Poudrerie royale de Wetteren, où, réellement, il couvrira un espace total de plus de 24 hectares.

Je ne connais pas de fait capable de faire supposer que la multiplicité

et la dissémination des conducteurs puissent être favorables aux étincelles d'induction ; j'ajoute que plusieurs physiciens, électriciens éminents, consultés par moi, sont du même avis. Espérons donc que la savante Commission de l'Académie des sciences produira un jour les expériences sur lesquelles elle fonde son opinion.

Sir William Thomson (Grande-Bretagne) rappelle que la Commission anglaise s'est prononcée pour l'emploi du cuivre de préférence au fer dans la construction des paratonnerres, Son avis personnel se rapproche au contraire de l'opinion commune à l'Académie des sciences de Paris et à celle de Berlin, qui toutes deux ont préconisé le fer ; la résistance spécifique du cuivre à 0° centigrade est à la vérité 1620 environ, tandis que celle du fer atteint la valeur 9827, à peu près six fois plus considérable ; mais la valeur commerciale des deux métaux rétablit l'équilibre. Or, à égalité de prix et pour une même conductibilité, le fer a une plus grande capacité calorifique que le cuivre [1] ; en outre, son point de fusion est plus élevé [2].

La seule chose qui, quant au pouvoir conducteur effectif, empêche, jusqu'à présent, de recommander le fer d'une manière absolue, est, en outre de la quasi-inertie commune à tous les métaux et signalée par M. Helmholtz, l'espèce de quasi-inertie particulière au fer ; le magnétisme du fer intervient probablement dans les phénomènes de décharge ; M. Helmholtz a montré que la résistance du fer n'était pas, à proprement parler, la résistance exprimée dans la théorie de Ohm, mais était celle-ci compliquée d'une résistance de quasi-inertie spéciale provenant des phénomènes de « self induction » et d'aimantation. En fait, vu cette dernière cause, bien que la résistance par suite de « self induction » soit moindre pour le fer que pour le cuivre, un fil de fer ayant une résistance-ohm égale à celle d'un fil de cuivre, révèle à la décharge une résistance plus grande que ce dernier.

La question du pouvoir effectif conducteur n'est pas absolument résolue pour le fer ; il importe que des expériences soient continuées à ce sujet.

Pour ce qui est de la protection des magasins à poudre, sir William Thomson donne toute son approbation à la solution de M. Melsens ; il propose même d'aller plus loin et de construire des magasins entièrement en fer. Ces édifices étant fréquemment érigés en des endroits où une bonne

1. Chaleur spécifique du fer entre 0° et 100°, rapportée au gramme . . . 0,1098
— du cuivre — — . . . 0,0949
2. Point de fusion du fer 1500
— cuivre. 1090

communication avec le sol est fort incertaine ou même impossible (par suite de fondation sur roche, par exemple), le mieux serait de former une véritable caisse en fer [1] ; *dans ce dernier cas*, une communication quelconque avec la terre n'est pas seulement inutile, elle est nuisible ; elle favorise en effet la production de forts courants dans le voisinage de la poudre, puisqu'elle facilite la séparation très complète de deux électricités, positive et négative, en quantités considérables. Si, au contraire, la caisse en fer qui entoure le bâtiment est bien isolée, les quantités d'électricité séparées sur cette caisse sont très faibles, peu éloignées, et leur réunion ne change qu'en minime proportion le potentiel dans l'intérieur.

D'une façon générale, toutes les fois qu'on n'aura entre les objets voisins de la poudre que des différences de potentiel ne dépassant pas deux ou trois volts, on devra juger la sécurité suffisante.

M. Helmholtz dit que l'honneur des expériences faites sur la résistance du fer ne lui appartient pas ; il revient à M. Kirchhoff et à un de ses propres élèves, M. le Dr Hertz.

M. Wiedemann fait remarquer que la considération de la température de fusion du fer ou du cuivre est d'une importance secondaire au point de vue de la résistance mécanique des paratonnerres. Riess a démontré en effet que, sous l'influence de la décharge, les métaux sont rompus avant d'atteindre leur température de fusion. Le platine, par exemple, est rompu à 123° centigrades. Il est à désirer que des études soient poursuivies en ce sens.

M. le Président propose le vœu suivant, qui est adopté : *La première section émet le vœu qu'une entente s'établisse entre les divers États, en vue de réunir les éléments d'une statistique relative à l'efficacité des paratonnerres des divers systèmes en usage.*

La séance est levée à onze heures cinquante-cinq minutes.

1. Contre les étincelles provenant des clous des chaussures formant briquet, on garnirait de planchers en bois, de tapis, ou de toute autre matière molle.

ANNEXE I.

DE LA FORME QUI CONVIENT AUX PARATONNERRES

PAR M. WILLIAM HENRY PREECE.

Un paratonnerre établi pour protéger un édifice se compose d'un ruban, d'une tige, d'une chaîne, d'une corde ou de toute autre masse de métal fixée à la partie la plus élevée du bâtiment, et descendant vers la terre. Quelle sera la forme de ce paratonnerre? Cette question a été controversée depuis Franklin jusqu'à nos jours. La forme du paratonnerre dépendra-t-elle de la superficie de la surface ou de celle de la section? En d'autres termes, lorsque les potentiels sont assez élevés pour produire des décharges de la foudre, le transport de l'électricité suit-il la loi de Ohm, ou bien cette loi est-elle modifiée par la présence de quelque condition nouvelle? Snow Harris était un chaud défenseur de la forme en surface. Il se servait de rubans plats pour ses navires et de tubes pour ses maisons. Henry, de Washington, croyait à l'efficacité de la surface. Selon lui, l'électricité de frottement passe à la surface, et l'électricité galvanique à travers la masse [1]. M. Melsens se trouve du même avis, et Guillemin, de Paris, a entraîné beaucoup d'électriciens français à soutenir la même idée.

D'un autre côté, Faraday s'est rangé presque avec aigreur dans le parti opposé. « Pour ce qui regarde la conductibilité électrique, dit-il, il n'y a aucun avantage à développer le paratonnerre horizontalement, en bande ou en tube. La surface n'a aucune influence; la section pleine est l'élément essentiel. »

Les défenseurs de la forme pleine et cylindrique soutiennent que le paratonnerre n'est qu'une voie par laquelle l'électricité est transportée d'un point de haut potentiel (un nuage chargé d'électricité) à un point de moindre potentiel (la terre), et que son efficacité ne dépend que de sa résistance. Le paratonnerre suit la loi de Ohm, et, par conséquent, son efficacité à volume égal est proportionnelle à sa masse et à la surface de sa section.

Les défenseurs du développement en surface soutiennent que dans tous les cas de charge statique, l'électricité n'existe qu'à la surface, de sorte que lorsque de l'électricité de haute tension passe sur un conducteur, c'est la surface qui joue le premier rôle, et par conséquent plus il y a de surface, plus le passage de la décharge est facile. Ils disent encore que lorsqu'un conducteur cylindrique transporte une charge électrique il est amené à une haute tension et peut alors causer des accidents; tandis que, à charge égale, plus il y a de surface, plus la densité électrique est faible à cette surface et par suite moins il y a de danger. En d'autres termes, avec une quantité donnée d'électricité, plus la surface est étendue, moins le potentiel est élevé. Ils font encore valoir que, puisque d'après Guillemin les courants d'électricité qui se dirigent dans le même sens se

1. *Telegraph Journal*, 15 octobre 1877.

retardent les uns les autres avec une puissance proportionnelle à la distance qui les sépare, et puisqu'une tige peut être considérée comme un faisceau de tiges plus petites mais parallèles, un courant électrique peut être regardé comme composé de nombreux courants parallèles qui se retardent les uns les autres. Alors un ruban conduira mieux qu'une tige, parce que les courants sont plus espacés et se retardent moins. Ces arguments ont déterminé l'emploi de rubans fort disgracieux et de tubes très coûteux, qui ont beaucoup nui à l'établissement de cet élément de sûreté indispensable à nos édifices.

Les arguments en faveur du développement de la surface sont, à notre avis, tirés de théories justement abandonnées, d'expériences imparfaites, ou d'interprétations erronées de faits reconnus. Autant que nous le savons, on n'a jamais fait aucune expérience directe pour résoudre la question. On se sert continuellement dans la télégraphie de quantités d'électricité, c'est-à-dire de décharges statiques des condensateurs, et quand on les étudie même avec les appareils les plus délicats, on reconnaît qu'ils suivent exactement la loi de Ohm. La connaissance de la marche de l'électricité dans les conducteurs, de l'influence retardatrice exercée sur cette marche par la capacité électro-statique et par la distribution de la charge, s'est tellement accrue pendant ces dernières années par la grande extension de la télégraphie sous-marine et les travaux de Sir William Thomson, Clerk Maxwell et autres, que je me demande s'il se trouverait aujourd'hui un seul électricien anglais pour défendre la forme superficielle. Malgré cela, on continue à employer les bandes et les tubes, et il semble très désirable de résoudre la question par l'expérience. C'est ce que j'ai résolu de faire.

PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES (28 JUIN 1880).

M. Warren de la Rue, qui est toujours prêt à mettre au service de la science son laboratoire magnifiquement organisé, non seulement m'a autorisé à me servir de son énorme batterie et de ses divers appareils, mais en outre m'a assisté de ses conseils et m'a aidé à faire les expériences.

Je me suis d'abord procuré des conducteurs en cuivre de 10 mètres de long, et ayant exactement la même masse ; l'un était un cylindre plein, un autre un tube mince, et un troisième un ruban mince aussi. La source d'électricité était une batterie de 3.240 éléments à chlorure d'argent. La charge était accumulée dans un condensateur d'une capacité de 42,8 microfarads. La décharge se produisait à travers un fil de platine de $0^{mm},3$ de diamètre et de longueur variable. La brusque décharge d'une quantité d'électricité contenue dans 42,8 microfarads élevés à un potentiel de 3,317 volts [1] est très difficile à mesurer. Cette décharge a beaucoup d'analogie avec celle de la foudre. En réalité, la différence de potentiel pour chaque unité de longueur d'air est probablement plus grande que celle de la foudre ordinaire. Cette décharge brûle complètement 63 millimètres du fil de platine, mais en augmentant la longueur de ce fil on pourrait arriver à reproduire toutes les différentes phases de chaleur qui sont marquées par les diverses nuances de rouge, jusqu'à la chaleur blanche, la fusion et la déflagration. Ainsi le caractère de la déflagration, qui est fidèlement marqué sur une carte blanche attachée au fil de platine, par la dispersion des molécules, donne une mesure suffisamment approchée de la

1. La force électromotrice d'un élément à chlorure d'argent est de 1,03 volt.

charge transmise, tandis que la longueur de fil élevé à la température du rouge sombre en donne une meilleure encore, car chaque variation de la force du courant, dans des limites modérées, est fidèlement marquée par un changement de couleur.

Première expérience. — J'ai fait passer des charges égales à travers le ruban, le tube et le fil, et dans chaque cas 63 millimètres de fil ont été brûlés. Je n'ai pu découvrir aucune différence dans le caractère de la déflagration.

Deuxième expérience. — J'ai pris 25 centimètres de fil, et j'y ai fait passer des charges égales. Dans chaque cas le fil a été amené à un rouge très brillant, tout près du point de fusion, et dans deux cas, il s'est rompu. Dans chaque cas le fil se tordit, donnant la preuve d'un trouble mécanique très considérable ; le même fil n'a pas été employé une deuxième fois. Je n'ai pu découvrir aucune différence dans les effets pour les divers conducteurs.

Troisième expérience. — J'ai employé un fil d'argent de même diamètre et de longueur égale, et j'y ai fait passer des charges semblables. Le rouge fut à peine visible, mais le fil se comporta de la même façon dans chaque cas.

La conclusion à laquelle on arrive sans hésiter est que le changement de forme ne produit aucune différence dans le caractère de la décharge, et que cette différence ne dépend que de la masse.

DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES (19 JUILLET 1880).

Comme on pourrait prétendre que la longueur du conducteur employé était assez courte, et sa résistance assez faible pour que des variations considérables aient pu passer inaperçues, je me suis procuré des conducteurs de même longueur (10 mètres) en plomb, métal qui conduit très mal, sa résistance étant douze fois celle du cuivre ; l'un de ces conducteurs avait la forme d'un fil, un autre celle d'un tube, et un troisième la forme d'un ruban, tous les trois ayant le même poids.

Quatrième expérience. — J'ai fait passer à travers ces conducteurs des charges du même condensateur de 42,8 microfarads aussi, mais de 3.280 éléments ; j'ai observé les décharges sur 15 centimètres de fil de platine de $0^{mm},3$ de diamètre, qui dans chaque cas furent échauffés jusqu'au rouge vif. Je n'ai pu découvrir aucune variation, soit que j'aie employé le fil, le tube ou le ruban.

Cinquième expérience. — Pour avoir une idée de la précision avec laquelle on peut estimer les variations du caractère de la décharge, je me suis servi d'un long morceau de fil de platine dont j'ai augmenté la longueur jusqu'à ce que le rouge fût juste visible ; alors une diminution de 10 pour 100 (1 mètre) dans la longueur amena un changement au rouge sombre, et des diminutions successives élevèrent la température à un rouge de plus en plus brillant.

La conclusion à laquelle on arrive est que un changement de 5 pour 100 dans la résistance eût été clairement et facilement visible.

Il paraît donc prouvé que les décharges d'électricité d'un potentiel élevé suivent la loi de Ohm, et ne sont pas affectées par le changement de forme. Il s'ensuit que l'étendue superficielle ne facilite pas les décharges de la foudre. On ne peut donc imaginer de paratonnerre plus efficace qu'une tige cylindrique ou un câble métallique.

ANNEXE II.

DES PARATONNERRES

NOTE DE M. LE PROFESSEUR W. GRYLLS ADAMS
De la Société royale de Londres.

Il y a environ trois ans, on proposa de nommer une Commission composée de deux membres de chacune des Sociétés scientifiques suivantes : la Société météorologique, la Société de physique, l'Institut royal des architectes anglais et la Société des ingénieurs télégraphistes et des électriciens, afin de déterminer le meilleur moyen de protéger les édifices contre les dégâts occasionnés par la foudre.

En ma qualité de Président de cette commission dont les travaux touchent aujourd'hui à leur fin, j'ai l'honneur de mettre sous vos yeux un exposé très succinct du rapport de la Commission basé sur la grande quantité de témoignages que nous avons recueillis sur la construction des paratonnerres et les accidents de toutes sortes occasionnés par la foudre.

Les membres de la Commission ont aussi consulté un grand nombre des ouvrages importants qui ont été écrits dans toutes les langues sur cette matière ; ils en ont donné des analyses dans leur rapport, et la collection de tous les témoignages ainsi réunis remplit plus de deux cents pages in-octavo. Ce rapport contient des analyses d'ouvrages français, allemands, belges, norvégiens et autres, aussi bien que de ceux qui ont été publiés en Angleterre et en Amérique, et forme ainsi un ensemble très précieux de renseignements sur cette matière.

C'est sur ces témoignages que la Commission a basé son rapport, qu'elle a divisé en quatre parties :

1° Aperçu rapide du but que doivent remplir les paratonnerres.

2° Exposé des principes servant à la construction et à l'établissement des paratonnerres, sur lesquels il existait encore des différences d'opinion ; avis de la Commission sur ces points.

3° Énumération des règles que l'on doit observer dans la construction des paratonnerres.

4° Conseils relatifs à l'application de ces règles, à la protection des édifices de diverses catégories et de différentes formes.

Dans la première partie, la Commission insiste sur l'importance qu'il y a à ce que le paratonnerre soit tout entier conducteur de l'électricité, depuis son extrémité supérieure jusqu'à la surface du sol, de manière qu'il n'y ait pas de résistance aux points de raccord.

La Commission insiste aussi sur l'importance qu'il y a à avoir un bon contact avec la terre, parce qu'on a trouvé que, dans un grand nombre d'accidents causés par la foudre sur des édifices munis de paratonnerres, ces paratonnerres

ne se reliaient pas d'une manière convenable à la surface du sol, de manière à former un bon contact avec la terre, de sorte que l'édifice n'était aucunement protégé.

La Commission a également considéré le conducteur électrique comme servant à décharger sans bruit l'électricité atmosphérique et à conduire les décharges brusques d'électricité, et elle a discuté en conséquence la forme à donner au paratonnerre, les moyens de le protéger contre la destruction, l'utilité des pointes comparées aux boules, la grosseur et la substance du conducteur; elle a examiné s'il convenait d'employer des tiges, des tubes, des bandes ou des câbles métalliques. Dans certains cas où il pouvait encore exister des doutes sur la meilleure solution théorique, la Commission a donné les preuves sur lesquelles était basée son opinion.

Sur la question des fonctions remplies par les pointes, la Commission les résume ainsi : un conducteur électrique peut, soit faciliter la décharge de l'électricité vers la terre, de manière à la faire écouler sans danger, soit neutraliser silencieusement les conditions qui déterminent la décharge dans son voisinage, de façon à prévenir entièrement la décharge de la foudre en cet endroit. Un paratonnerre doit offrir un moyen de décharge plus voisin de la perfection, plus accessible et plus facile que tout autre que la foudre puisse rencontrer parmi les matériaux de l'édifice qu'il s'agit de protéger.

Plus la pointe est aiguë, plus la décharge silencieuse de l'électricité est rapide, et par suite, plus le paratonnerre est efficace; mais, plus la pointe est aiguë, plus elle se détruit rapidement et moins elle peut faire écouler une décharge forte et capable de briser.

Pour ce qui regarde l'application des paratonnerres, nous avons comparé entre elles les différentes méthodes employées en Angleterre, en France et en Allemagne pour protéger les cheminées des grandes usines, où les paratonnerres sont susceptibles d'être endommagés par les gaz qui s'exhalent; dans ce cas, la Commission pense que le paratonnerre le plus utile et le plus durable, pour une cheminée d'usine, serait un paratonnerre surmonté d'une couronne de cuivre avec six ou huit grosses pointes; mais celles-ci doivent être dorées, ou nickelées, ou platinées afin de résister à l'oxydation. Les girouettes et toutes les masses de métal extérieures, telles que les citernes, etc., devront être reliées au conducteur, ou bien être mises en communication avec le sol.

Une question importante étudiée par la Commission est celle de savoir quelle est la meilleure manière de faire les joints entre les différentes parties du paratonnerre; souvent, en effet, des édifices ont été endommagés par suite de l'exécution défectueuse d'un joint.

En considérant la forme du paratonnerre, la Commission a naturellement été amenée à étudier l'importance relative de la surface de la section et celle de l'étendue superficielle du conducteur, dans le but d'obtenir la décharge rapide de la foudre; quoiqu'il n'y ait pas unanimité, la Commission presque tout entière pense que la manière de voir de Faraday est juste, c'est-à-dire que la conductivité dépend plus de la masse du conducteur que de son étendue superficielle. Cependant, au point de vue pratique, elle reconnaît le grand avantage que présente l'emploi de rubans de cuivre qui offrent plus de surface qu'une tige cylindrique; cet avantage vient en premier lieu de ce que les fabricants peuvent fournir des rubans d'une grande longueur sans aucun raccord, de sorte qu'on n'est pas exposé à avoir des joints défectueux; de plus, on obtient facilement des joints efficaces en vissant ou en rivant les deux surfaces l'une sur l'autre et en

plongeant tout le joint dans de la soudure. On ne peut faire aussi facilement des joints de la même efficacité, quand on se sert de tiges.

La Commission a constaté qu'avec une corde métallique il y a beaucoup de danger d'avoir un contact défectueux à l'endroit des joints, et est d'avis que, lorsqu'on se sert de cette sorte de conducteur, l'extrémité de chaque fil composant le câble doit se relier aux autres au moyen d'une soudure très forte. Quant à la manière d'attacher le conducteur à l'édifice, il a été démontré devant la Commission que l'on ne devait pas employer des matières isolantes comme le verre; la Commission recommande que les attaches soient du même métal que le conducteur, qu'elles soient suffisamment fortes, qu'elles aient une forme propre à diminuer autant que possible le risque d'endommager le conducteur, enfin que l'on ménage un certain jeu pour permettre au conducteur métallique de se dilater et de se contracter.

Une question très importante est celle de savoir quel est l'espace que l'on peut regarder comme protégé par un paratonnerre. Il y a sur ce point de grandes divergences d'opinion, basées sur des hypothèses différentes relatives à l'induction électrique entre les nuages et la terre, et à la distribution de l'électricité dans l'air. La Commission ne s'est pas contentée d'étudier la question au point de vue de savoir s'il n'y a protection absolue que dans l'intérieur d'un garde-manger ou d'une chambre métallique comme en employait Faraday dans ses recherches bien connues; elle est arrivée à des conclusions tirées de l'expérience du passé. Les instructions officielles françaises les plus récentes établissent qu'un paratonnerre protège suffisamment un cône dont le sommet serait la pointe du paratonnerre et dont le rayon de base serait égal à 1,75 de la hauteur de ce cône. Les instructions du ministère de la guerre en Angleterre donnent beaucoup moins d'étendue à l'espace protégé; elles déclarent en effet qu'on ne peut fixer de limite précise au pouvoir protecteur du paratonnerre, et que, en Angleterre, on suppose généralement que le rayon de base du cône de protection est égal à la hauteur de la pointe du paratonnerre au-dessus de la surface du sol. Cela signifie évidemment que cette protection est suffisante pour les orages ordinaires de l'Angleterre; cependant dans deux circonstances, et deux fois dans l'une de ces circonstances, en présence de la Commission, la foudre est tombée en dedans du cercle ayant pour rayon la hauteur du paratonnerre.

Les preuves tirées de l'observation montrent que la foudre a fondu une tige de 44 millimètres carrés de section et la Commission recommande comme minimum de dimensions à employer :

Pour une corde de cuivre : 63 millimètres carrés de section.

Pour une tige de cuivre : 63 millimètres carrés de section.

Pour un ruban de cuivre 20 millimètres $\times$ $3^{mm},4$ ou environ 68 millimètres carrés de surface.

Pour une tige de fer : 400 millimètres carrés de surface.

Ces dimensions sont les résultats auxquels ont conduit des observations faites sur l'efficacité des paratonnerres employés, c'est-à-dire qu'elles représentent les conclusions que l'on peut tirer des statistiques.

Un grand nombre de sujets d'un haut intérêt pratique sont traités dans le rapport de la Commission; mais il est impossible de récapituler dans un court espace de temps tous les travaux de la Commission pendant les trois dernières années.

Discussion du mémoire de M. Adams.

L'ORAGE ÉLECTRIQUE DU 31 JANVIER 1881

PAR W. H. PREECE

Les orages électriques, qui avaient été rares et inoffensifs depuis 1872, ont commencé à reparaître. Par orages électriques je veux dire ces courants terrestres anormaux qui occasionnent de temps en temps de graves perturbations dans les circuits télégraphiques. Je ne parle pas de ces courants terrestres normaux décrits par M. Adams, et qui existent toujours avec plus ou moins de force. Le premier orage éclata vers le 11 et 12 août de l'année dernière ; mais un second bien plus considérable éclata le 31 janvier dernier. Tous les deux avaient un caractère cosmique, et on a envoyé de toutes les parties du globe des preuves de leur existence.

L'orage du 31 janvier fut d'abord observé à 3 heures de l'après-midi ; il atteignit son maximum vers 6 h. 40 et disparut vers 9 heures du soir. Il recommença vers 11 heures et disparut de nouveau vers 1 heure du matin. Les courants acquirent une intensité que je n'avais jamais observée. A Slanfair, dans l'île d'Anglesey, sur les fils du London Irish, ils mesuraient 41,4 milliwebers, tandis que, à Haverfordwest, sur un autre fil de l'Irish, ils mesuraient plus de 30 milliwebers. Les observations faites à la dernière station ont été notées avec tant de soin que je les ai reproduites sur une carte donnant une excellente représentation graphique de la durée, de la direction et de l'intensité de l'orage. Les mesures ont été prises avec un galvanomètre sur un fil allant de Haverfordwest à Valentia et correspondant avec la terre en ces deux stations. La longueur de ce circuit est de 482 kilomètres et sa résistance de 4,000 ohms. La distance géographique entre les deux points est de 354 kilomètres. La courbe montre que le courant fut négatif jusqu'à 6 heures du soir, moment où son intensité commença à varier considérablement, atteignant à 6 h. 34 une intensité remarquable, et sautant tout à coup en 3 minutes à la direction opposée, tout en conservant la même intensité, soit 30 milliwebers. Après avoir varié pendant 2 minutes, l'intensité du courant diminua considérablement et à 9 heures du soir il disparut tout à fait. Le courant maximum montre que, à ce moment, il y avait entre les deux points où le fil touche la terre une différence de potentiels de 120 volts, ou une diminution de potentiel de 1 volt par 1 mille 8/10. Les lectures faites dans l'île d'Anglesey montrent que la diminution de potentiel est exactement la même entre Anglesey et Londres. Or, puisque les courants qui travaillent utilisent environ 10 milliwebers, il est évident que des courants anormaux de cette intensité ont dû avoir une grande influence perturbatrice sur les lignes télégraphiques. En fait, au moment où le trouble était à son maximum, presque tous les circuits étaient interrompus, excepté dans les endroits où l'on a pu se servir de fils bouclés métalliquement.

Des observations faites à Cardiff et à Swansea ont permis de se faire une idée suffisamment approchée de la distribution des surfaces équipotentielles, et d'en déduire la ligne de la force électromotrice maximum. J'ai reproduit ces

observations sur une petite carte. En outre, le calcul nous a permis de représenter sur le même plan la distribution du potentiel déterminée par la position du soleil par rapport à la terre. La coïncidence de ces lignes est remarquable. Je suis arrivé précisément au même résultat le 4 février et le 7 août 1872, lors des derniers orages qui aient eu quelque importance. En outre, leur exactitude est confirmée par une observation faite dans les îles Shetland et reproduite de même sur une carte.

On doit remarquer que, le même jour, on observa dans la photosphère du soleil une perturbation d'une intensité extraordinaire et sans précédent. C'est un fait bien connu que les taches du soleil, les aurores boréales et les perturbations magnétiques sont non seulement d'accord, mais qu'elles suivent précisément le même cycle, bien que les autorités en cette matière ne soient pas tout à fait d'accord sur la périodicité exacte de ce cycle. Secchi, à Rome, a prouvé en 1872 que de violentes éruptions solaires coïncidaient avec les violentes perturbations magnétiques et les courants terrestres anormaux.

La réunion de tous ces faits montre qu'il ne peut y avoir aucun doute que ces courants terrestres anormaux, ou orages électriques, ne soient dus, comme je l'ai fait remarquer plus haut, à des perturbations solaires.

ANNEXE III.

EXTRAIT D'UNE NOTE DE M. MELSENS

Avant de donner les prix de la pose des paratonnerres, je crois devoir rappeler un principe que j'ai déjà signalé et discuté dans mes notices sur la question générale des paratonnerres. — Je le signale ici d'une façon toute spéciale, eu égard surtout aux masses de fer, parfois énormes, employées dans les constructions modernes pour les conduites d'eau et pour les conduites de gaz,

Quand on construit un édifice important, que l'on sait devoir, tôt ou tard, être armé d'un paratonnerre, il faut prévoir les dispositions de celui-ci dès les fondations, rattacher métalliquement par des circuits fermés toutes les masses de fer entre elles, les faire toutes servir de conducteurs en les raccordant métalliquement avec les conducteurs, tant aériens que souterrains, du paratonnerre projeté.

Il résulte de l'application de ce principe une grande économie, une grande facilité pour le travail de la pose, et les fers ou métaux offrent une série parfois innombrable de conducteurs, intérieurs mais adventifs, dont on peut, sans frais, profiter pour faciliter l'écoulement de la foudre dans la terre.

Voici maintenant et, sous forme de tableau, quelques comparaisons, réduites à leur plus grande simplicité :

J'espère publier bientôt des données complètes sur tous ces édifices avec plans cotés et détails, ainsi que sur les autres édifices armés actuellement de mon système, savoir : les écoles communales de Bruxelles, le monument de Laeken, le Palais des beaux-arts, la Monnaie, l'hôpital Saint-Pierre, les pavillons

définitifs de l'Exposition. Constatons, en attendant, qu'à surface couverte égale, le rapport moyen de ces prix, si différents entre eux, ne s'élève même pas au cinquième, en nombres ronds, pour mon système, comparé à l'ancien, en prenant le prix le plus élevé de 0,77 centimes par mètre carré de préservation.

ÉDIFICES.	SURFACE COUVERTE en nombres ronds approximatifs en mètres carrés.	PRIX DE LA POSE des paratonnerres en francs.	PRIX DE LA POSE pour la protection d'un mètre carré en francs.
PARATONNERRES DES ANCIENS SYSTÈMES.			
Palais du roi à Bruxelles	7 800	23 551,07	3,02
Écuries du roi à Bruxelles.	2 800	17 446,59	6,23
Ancien hôtel d'Assche (liste civile). .	650	5 149,81	7,92
Jardin botanique, à Bruxelles	2 000	7 971,19	3,99
Palais du roi, à Laeken	1 900	18 407,08	9,68
Annexes du palais du roi, à Laeken (écuries, remises, manège, théâtre).	5 200	18 307,61	3,39
Sommes	20 350	90 833,35	4,46 (moyenne).
PARATONNERRES DU SYSTÈME MELSENS.			
Nouveau Palais de Justice.	16 600	10 840,00	0,65
Hôpital Saint-Pierre.	6 300	4 819,40	0,77
Bourse de Bruxelles	3 200	1 496,65	0,47
Sommes	26 100	17 186,05	0,66 (moyenne.)

Voici du reste, pour que l'on voie directement le rapport des prix de ces différents devis, les rapports réels traduits en nombres ronds : l'ensemble des six paratonnerres qui ont coûté 90,833 fr. 35, n'aurait coûté, en appliquant mon système, que 15,669 fr. 50, en admettant 0,77 centimes par mètre carré de surface protégée, soit le rapport de 15,669 fr. 50 à 90,833 fr. 35, ou en nombres ronds et simples, 1 à 5 $\frac{3}{4}$; en prenant comme base la moyenne générale, c'est-à-dire 66 centimes, on arrive à une dépense de 13,431 francs au lieu de 90,833 fr. 35, soit le rapport de 1 à 6 $\frac{3}{4}$.

Si, au contraire, on admet que l'on puisse appliquer le coût du paratonnerre de la Bourse, établi sous ma direction par les soins des ateliers de la ville de Bruxelles, aux ordres de M. l'ingénieur Verstraeten, on arrive à la faible somme de 9,564 fr. 50 au lieu de 90,833 fr. 35, soit le rapport de 1 à 9 $\frac{1}{5}$, près du dixième !

Je dois faire remarquer expressément que j'ai compris tous les frais nécessaires dans le coût total. Des détails sur ce point m'entraîneraient trop loin pour une note préliminaire comme celle-ci.

Quoi qu'il en soit, nous trouvons des économies de : 81,268 fr. 85 ; de 77,402 fr. 35 ; de 75,163 fr. 85 ; sur une dépense totale de 90,833 fr. 35.

(Extrait d'une note complémentaire sur les paratonnerres du système Melsens.)

ANNEXE IV

EXTRAIT D'UNE NOTE DE M. MELSENS

APPLICATION DU RHÉ-ÉLECTROMÈTRE DE MARIANINI AUX PARATONNERRES ET AUX PARAFOUDRES DES TÉLÉGRAPHES. CONSÉQUENCES AU POINT DE VUE MÉTÉOROLOGIQUE.

On sait que les fils télégraphiques sont constamment frappés par la foudre; les télégraphistes ont ordre *de se mettre sur terre*, comme on dit, pendant les orages; la foudre laisse des traces plus ou moins fortes de son passage dans les papiers dont les parafoudres sont munis. Les dimensions plus ou moins considérables des perforations dans le papier peuvent donner des indications sur l'intensité des coups.

Rien ne me paraît plus simple que d'insérer les Rhé-électromètres dans le parafoudre ordinaire; on conserverait la preuve du passage de la foudre et, de plus, l'indication nette de sa direction. Cette donnée est indiscutable et il est bien prouvé que l'on connaît la *foudre ascendante* comme la *foudre descendante*, celle-ci paraissant se produire bien plus souvent que la première. Autant que j'en puis juger, la foudre ascendante exerce des ravages et produit des phénomènes autres que la foudre descendante.

Je ne sache pas que les appareils dont on se sert actuellement dans les observatoires pour constater la direction et l'intensité des courants terrestres, les signes de l'électricité de l'air, etc., aient donné des résultats bien nets sur ce qui arrive dans les différents lieux parcourus par le même orage, et j'ignore si, sous ce rapport, on a comparé les observations, simultanées ou séparées par un intervalle de temps déterminé, indiquant la rapidité de la marche des orages.

Aujourd'hui que les réseaux télégraphiques s'étendent sur toute l'Europe savante, communiquent avec beaucoup d'observatoires et rayonnent, on peut le dire, sur le monde entier, il me semble qu'un vaste système d'observation, établi au moyen du Rhé-électromètre de Marianini, dans tous les postes télégraphiques, serait de nature à nous éclairer sur des points importants, se rattachant à tous les phénomènes électriques qui se passent au-dessus de nos têtes, dans les nuages, dans nos édifices et, sous nos pieds, dans le sol.

QUATRIÈME SÉANCE

20 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à neuf heures quarante minutes.

M. LARTIGUE (France) a fait une motion dans la deuxième section qu'il présente de nouveau à la première section.

Il voudrait que le Congrès exprimât l'opinion que les lignes télégraphiques et téléphoniques placées sur les édifices sont sans inconvénient pour la sécurité, c'est-à-dire qu'elles n'augmentent pas les dangers de la foudre.

M. PLANTÉ (France) désire ajouter quelques mots à l'appui des considérations présentées, dans la séance d'hier, par M. Wiedemann, sur la possibilité de rupture des tiges conductrices des paratonnerres par une action plutôt mécanique que calorifique de la foudre.

En étudiant les effets produits par le courant de l'appareil qu'il a désigné sous le nom de *machine rhéostatique*, M. Planté a observé des changements moléculaires très marqués dans des fils fins de platine soumis à l'action de ce courant.

Nairne, Riess, MM. Edmond Becquerel, Le Roux, Melsens, avaient déjà étudié les modifications subies par les fils métalliques, sous l'influence de puissantes décharges de batteries de Leyde.

M. Planté a reconnu que, par le passage du courant de *quantité* de la machine rhéostatique, non seulement on obtenait immédiatement la division d'un fil fin de platine en intervalles séparés par des plis à angles vifs, se resserrant à mesure que le courant continuait de passer, mais qu'on entendait, en même temps, un *bruit* dans le fil, une sorte de *craquement*, bien que le fil ne présentât aucune solution de continuité, et enfin qu'au bout d'une à deux minutes, le fil se rompait spontanément.

Ce bruit révèle un ébranlement moléculaire notable, sous l'influence du passage du courant, et la rupture le confirme; car elle se produit, alors même que le fil n'est pas tendu et qu'il n'a pas été échauffé jusqu'au rouge, de même que dans les expériences de Riess rappelées par M. Wiedemann.

Si les décharges d'un appareil de laboratoire, traversant un fil métallique fin, peuvent y produire un changement de structure moléculaire tel qu'il se rompt spontanément au bout de quelques instants, le passage des courants de la foudre, qui réunissent à un bien plus haut degré la quantité et la tension électriques, doit produire sur de plus gros conducteurs, tels que les tiges ou les cordes en fer des paratonnerres, des effets tout semblables.

Ces conducteurs peuvent donc devenir très cassants et offrir des modifications de structure invisibles, non seulement à la suite des chutes directes de foudre qu'ils ont pu subir, mais encore quand ils ont servi longtemps à l'écoulement silencieux de grandes quantités d'électricité atmosphérique. Ils peuvent même avoir reçu un grand nombre de décharges, sans qu'il se soit formé d'interruption appréciable à l'aide d'instruments électriques, et se trouver néanmoins dans un état tel de *fragilité moléculaire* qu'une nouvelle et puissante décharge détermine la rupture du conducteur.

Ainsi s'expliqueraient les accidents arrivés quelquefois avec des paratonnerres en apparence irréprochables. Il peut donc être nécessaire de renouveler complètement un conducteur de paratonnerre, alors même qu'il semble offrir une conductibilité suffisante, s'il s'est trouvé exposé à de fréquents et violents orages, de manière à être devenu *fragile* par le passage de grandes quantités d'électricité.

M. Planté conclut que, dans tous les cas, il est bon de donner aux câbles conducteurs des paratonnerres la plus grande section possible.

M. Dumas propose que la Section examine les propositions de la Commission des unités dont voici les formules :

1° On adoptera pour les mesures électriques les unités fondamentales : centimètre, masse du gramme, seconde (C. G. S.);

2° Les unités pratiques l'ohm et le volt conserveront leurs définitions actuelles : 10^9 pour l'ohm et 10^8 pour le volt;

3° L'unité de résistance (ohm) sera représentée par une colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade;

4° Une Commission internationale sera chargée de déterminer par de nouvelles expériences, pour la pratique, la longueur de la colonne de

mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade, qui représentera la valeur de l'ohm.

M. Dumas expose que la Commission prendra d'autres résolutions sur des points secondaires, mais il propose que la Section discute et vote sur ces quatre propositions.

Ces propositions sont mises aux voix et adoptées.

MM. Helmholtz et du Bois-Reymond ont présenté une note écrite dans laquelle ils expriment le désir d'avoir l'opinion des membres du Congrès sur la question de savoir si les fils téléphoniques placés sur les édifices présentent quelque danger.

M. Mascart, au nom de M. Becquerel, rectifie et complète quelques chiffres cités dans la discussion d'hier.

M. Raynaud dit que la question des fils télégraphiques a été posée à la deuxième section, et que, sur la proposition de M. le Ministre des Postes et Télégraphes, elle a été renvoyée à la séance plénière de ce jour.

La Section vote dans le même sens.

M. Dumas met en discussion la cinquième question du projet de programme.

Question concernant l'électro-physiologie.

Nécessité de définir d'une façon scientifique les courants dont on fait usage dans les opérations médicales et d'en rattacher la mesure aux unités électriques.

M. du Bois-Reymond doute que, quant à présent, il y ait avantage à discuter cette question.

En ce qui concerne les courants continus, la mesure, à la vérité, en est donnée par la force électromotrice de la pile; mais la résistance très variable du corps humain (due à l'épaisseur et à l'humidité de l'épiderme, à la transpiration et à l'état des conducteurs appliqués au contact) entraîne des variations d'intensité telles qu'il sera très difficile d'arriver à des résultats tant soit peu comparables.

Pour les courants d'induction, la difficulté est encore plus grande. Il croit que la question d'en graduer l'intensité est résolue empiriquement par l'appareil à traîneau; M. Christiani, d'ailleurs, a donné des moyens pratiques d'évaluer, en mesure absolue, le potentiel d'une bobine sur une autre. Mais les actions physiologiques dépendent en grande partie de la loi de variation des courants induits : celle-ci est liée absolument aux oscillations du trembleur, dont jusqu'à présent on n'est pas parvenu à régler définitivement le mode d'action.

Il conclut en disant que la question est résolue théoriquement, ou à peu près, mais qu'elle n'est guère soluble pratiquement.

M. Marey, obligé de se rendre au Jury de la Cour d'assises, demande qu'on veuille lui réserver la parole demain matin.

M. Dumas propose de renvoyer la discussion de l'article 5 à la séance de demain. Cette proposition est adoptée.

M. Dumas rappelle que les articles 1 et 2 du programme et les propositions laissées à l'initiative des membres sont encore à discuter.

M. Deprez demande à faire à la Section une communication sur un mesureur d'énergie et une autre sur un appareil propre à réaliser l'étalon du volt.

Sir William Thomson. Pour donner suite aux questions qui ont déjà été résolues, il est nécessaire que la Section se prononce sur deux autres propositions d'ordre secondaire, dont il va donner lecture et qui prendraient les n°s 5 et 6 après les propositions déjà adoptées.

1° L'unité C. G. S. de quantité d'électricité, indépendamment du temps, sera appelée *Ampère*. Cette unité n'est liée qu'aux unités de longueur et de masse, et ses dimensions sont $\sqrt{M.\ L.}$ La définition de cette unité est donc parfaitement précise, et sa grandeur est telle, qu'elle s'accommode très bien aux besoins de la pratique.

2° L'intensité du courant, ou, suivant l'expression anglaise, le courant produit par une force électromotrice de 1 volt agissant dans une résistance de 1 ohm, conservera le nom de Weber, sous lequel elle a été désignée jusqu'à présent dans la pratique. Sir William Thomson aurait préféré, pour sa part, que l'unité d'intensité correspondît au passage d'une unité C. G. S. de quantité en une seconde; mais on aurait ainsi une unité de courant trop forte pour pouvoir être comparée commodément aux intensités que l'on a d'ordinaire à mesurer. Ainsi les courants qui servent à produire la lumière électrique à arc sont représentés par un petit nombre de webers, 10 pour les lumières les plus petites de cette espèce, 20 à 30 pour les grands foyers lumineux. Dans les usages communs de la pratique, on n'a guère besoin que de nombres approximatifs, et pour de telles évaluations il est bien préférable de n'employer que des nombres entiers simples, et non des nombres dans lesquels une partie des chiffres, sinon la totalité, figure essentiellement sous forme de décimale. Sans doute il est fâcheux que l'unité de courant ne corresponde pas au passage de l'unité de quantité dans l'unité de résistance; mais il n'y a pas moyen d'éviter cet inconvénient, puisque la Section a décidé définitivement de conserver les définitions du volt et de l'ohm.

Au reste, pour éviter que plus tard on ne fasse au Congrès le reproche d'inconséquence, Sir William Thomson propose d'ajouter, à titre d'explication, la note suivante :

« Le weber est le courant dans lequel une unité C. G. S. traverse le conducteur dans l'espace de 10 secondes. »

M. Förster propose de renvoyer à la Commission les deux propositions 5 et 6 de Sir William Thomson.

M. Mascart appuie l'avis de M. Förster au cas où il y aurait une objection.

M. Clausius remarque que la Commission, ayant à examiner d'autres points, pourrait en même temps discuter ces deux propositions.

M. le Président partage cet avis et propose le renvoi à la Commission.

La proposition du Président est adoptée.

M. Neujean voit dans les phénomènes des piles secondaires une preuve de l'identité de la chaleur et de l'électricité.

La séance est levée à dix heures quarante-cinq minutes.

CINQUIÈME SÉANCE

Mercredi 21 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance est ouverte à neuf heures quarante minutes.

M. MASCART (France) donne lecture des procès-verbaux des deux dernières séances. Ces procès-verbaux sont adoptés.

M. MAREY (France), répondant à M. du Bois-Reymond, constate d'abord qu'il n'existe entre eux qu'un désaccord apparent sur le besoin d'introduire des mesures électriques en biologie.

M. Marey insiste sur la nécessité d'une entente générale des physiologistes à cet égard.

Il est absolument indispensable d'avoir un étalon d'excitation électrique pour les recherches sur l'excitabilité des nerfs et des muscles.

M. Marey, sur le conseil de M. Mascart, a employé, à cet effet, le condensateur. Cet appareil, donnant des décharges dans un seul sens, a l'inconvénient de modifier, par polarisation, l'excitabilité de l'élément en expérience.

M. D'ARSONVAL (France) a évité cet inconvénient en se servant du condensateur pour exciter une bobine d'induction. Il en résulte deux courants instantanés de sens inverses et de quantités égales, qui se neutralisent absolument au double point de vue de l'électrolyse et de la direction.

L'expérience a démontré que cette méthode était jusqu'à présent celle qui conservait le mieux l'intégrité du nerf et du muscle.

Enfin, pour étudier l'état variable des courants d'origine animale, l'électromètre de Lippmann, dont les indications seraient photographiées comme l'a fait M. Marey, paraît être l'instrument le plus commode. Il est préférable dans ces circonstances à la méthode des explorations successives employée par Guillemin et Burnouf pour étudier l'état variable dans les lignes télégraphiques, par la raison qu'on n'est jamais sûr de répéter

plusieurs fois de suite, dans des conditions identiques, un phénomène vital.

En médecine, les méthodes d'application de l'électricité sont très variables; il faudrait également une entente.

En conséquence, M. Marey propose de former une Commission internationale chargée d'étudier cette question.

M. d'Arsonval appuie la proposition de M. Marey, et dit qu'il est absolument nécessaire pour l'électro-thérapie d'employer des mesures électriques.

Il y aurait de graves inconvénients à ne pas le faire, au double point de vue du progrès de cette science et même de la sécurité et de la certitude des opérations médicales.

Les propriétés électrolytiques du courant peuvent être l'origine d'accidents provoqués par la cautérisation énergique qui en résulte.

La Section ayant résolu la formation d'une sous-commission d'électro-physiologie, M. le président invite ceux qui s'intéressent à la question à se faire inscrire comme membres de cette Commission.

M. du Bois-Reymond se déclare prêt à faire partie de la Commission et propose :

MM. Helmholtz,
de Ziemssen.

M. Moulton propose :

MM. Dewar,
Burdon-Sanderson,
Mac Kendrick,
Frankland,
Marshall.

M. Govi propose M. Rossetti.

M. Bastings demande à faire partie de la Commission et propose M. Valerius (de Gand).

Les membres suivants se font successivement inscrire :

MM. Marey,
d'Arsonval,
Ed. Becquerel,
Lippmann,
Gariel,
Marcel Deprez.

La nouvelle Commission se réunira à quatre heures.

M. Bastings fait une communication sur l'emploi thérapeutique de l'électricité pour la guérison des maladies provenant de la faiblesse du sang.

M. le Président donne lecture de la deuxième question du projet de programme relative à la mesure des courants continus ou alternatifs de grande intensité.

M. Joubert croit préférable de renvoyer la discussion de cette question à la troisième Section, qu'elle intéresse plus directement.

La proposition de M. Joubert, mise aux voix, est adoptée.

La séance est levée à dix heures trente minutes.

SIXIÈME SÉANCE

Jeudi 22 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à neuf heures quarante-cinq minutes.

M. MASCART (France) donne lecture du procès-verbal, qui est adopté.

M. STOLETOW (Russie) demande que la Commission internationale chargée de l'établissement des unités électro-magnétiques s'occupe aussi de déterminer, avec toutes les ressources de la science actuelle, le rapport exact entre ces unités et les unités électro-statiques. L'importance scientifique de cette question justifierait amplement les travaux nécessités par cette détermination. (Voir Annexe I, page 218).

M. MASCART appuie cette proposition, qui s'impose d'ailleurs naturellement.

La proposition, mise aux voix, est adoptée.

M. MASCART lit une invitation de M. Aylmer, au nom du Président et du Conseil d'administration de la Société des ingénieurs télégraphistes et électriciens de Londres, priant les membres du Congrès d'assister, à titre de membres honoraires, aux réunions de la Société à Paris.

M. LE PRÉSIDENT déclare qu'il sera adressé des remerciements, au nom du Congrès, à la Société des ingénieurs télégraphistes.

M. LE PRÉSIDENT est d'avis que l'on pourrait échanger utilement quelques idées sur la question posée par M. Lartigue sur les dangers des fils télégraphiques et téléphoniques.

M. LARTIGUE (France). La question peut se poser ainsi : *Les fils télégraphiques et téléphoniques posés sur les édifices offrent-ils un danger au point de vue des effets de l'électricité atmosphérique ?*

Sans considérer la question au point de vue du pittoresque et des

dangers de rupture, le Congrès pourrait se prononcer utilement sur la question électrique en déclarant que les conducteurs électriques placés au-dessus ou contre les édifices n'ont pas d'influence fâcheuse. Une semblable déclaration, de la part du Congrès, mettrait un terme à certaines appréhensions, qui s'opposent encore au développement des applications téléphoniques.

M. Warren de la Rue (Grande-Bretagne) cite, à l'encontre de l'opinion de M. Lartigue, l'exemple d'un coup de foudre ayant provoqué, par induction, sur une ligne d'environ un kilomètre, des étincelles dont la longueur a atteint six pouces.

M. Werner Siemens (Allemagne). L'Académie de Berlin estime que le danger est nul lorsque les supports métalliques des fils sont en bonne communication avec la terre par les conduites d'eau et de gaz.

M. Helmholtz (Allemagne). Lorsque la maison au-dessus de laquelle est placé le fil renferme des pièces métalliques, il peut y avoir une décharge directe. (Voir la figure ci-dessous.)

Fig. 19.

D'autre part, le danger existe aussi pour ceux qui font usage du téléphone. Une spirale de cuivre entourant un noyau de fer présente une résistance telle qu'une personne placée dans le voisinage de l'appareil offrira un écoulement plus facile à la décharge, surtout si cette personne est en bonne communication avec le sol. Il importe, dans ce cas, de disposer un paratonnerre formé, par exemple, de deux boules séparées par un intervalle de moins d'un dixième de millimètre, et qui permettra à l'électricité de s'écouler à la terre sans danger.

Quant aux supports de la ligne, il importe, comme l'a dit M. W. Siemens, de les mettre en bonne communication avec le sol.

M. Lartigue. En France, la Société générale des téléphones place des paratonnerres aux deux extrémités de la ligne aérienne; pour les lignes mixtes, on place aussi un paratonnerre aux points de raccord entre le fil aérien et le fil souterrain. Souvent les poteaux eux-mêmes sont transformés en véritables paratonnerres.

M. Preece (Grande-Bretagne). Dans les villes fumeuses de l'Angleterre, les fils se détériorent rapidement, se brisent, et l'on préfère les enterrer.

Pour les petites villes, cet inconvénient n'existe pas. A ma connaissance, les fils posés au-dessus des maisons n'ont jamais causé d'accident, et je les considère, au contraire, comme un système protecteur.

M. le Président propose que la question soit reliée à celle des paratonnerres et renvoyée à la Commission des paratonnerres.

La proposition, mise aux voix, est adoptée.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la communication de M. Marcel Deprez.

M. Marcel Deprez (France). Un étalon pratique de force électromotrice fait actuellement défaut. La pile de Latimer-Clark n'est constante qu'en circuit ouvert. Voici une solution de la question :

Dans un électro-dynamomètre de résistance fixe, la différence des potentiels aux deux bornes est constante lorsque l'intensité du courant qui le traverse est constante. Soit A la bobine mobile et B la bobine fixe :

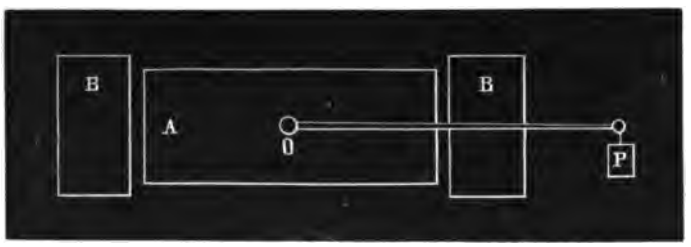

Fig. 20.

un poids P équilibre l'action du courant. On peut déterminer la valeur de P correspondant à une différence de potentiel d'un volt aux deux bornes. Dans la pratique, on maintient l'intensité constante au moyen d'un rhéostat placé dans le circuit de l'électro-dynamomètre et d'une pile appropriée.

On pourra remplacer l'électro-dynamomètre par le galvanomètre de M. Marcel Deprez, car, le champ magnétique d'un aimant variant très

peu, l'appareil restera comparable à lui-même, en le plaçant dans des conditions identiques.

Mesureur d'énergie. Si, entre deux points A et B, on établit deux circuits R et r, on aura la relation :

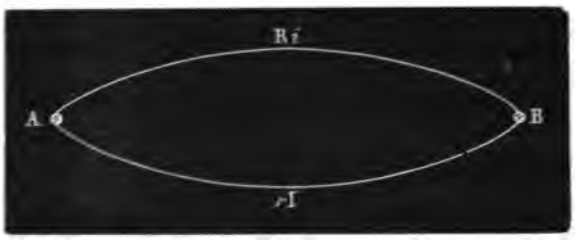

Fig. 21.

$$i = \frac{E}{R}$$

$$I = \frac{E}{r}.$$

On en tire :

$$E = Ri,$$

d'où

$$EI = RiI.$$

L'énergie EI est donc proportionnelle à R, qui est fixe, et à iI; elle pourra donc être mesurée par un électro-dynamomètre dont les deux bobines seront respectivement parcourues par les courants i et I.

Pour les courants continus, la mesure est rigoureuse.

Un théorème récemment énoncé par M. Brillouin semble indiquer que cette méthode est aussi applicable aux courants alternatifs.

M. Brillouin (France) présente quelques observations, d'après lesquelles son théorème ne se rapporte pas aux quantités mesurées par l'appareil de M. Deprez; il est impossible d'en tirer aucune conclusion relative à cette méthode. (Voir Annexe II, page 219.)

M. Moulton (Grande-Bretagne) demande qu'on aborde la discussion de la mesure des courants continus ou alternatifs de grande intensité.

M. Joubert (France) appuie cette proposition, qui est adoptée.

M. Joubert : Une méthode très simple pour mesurer les courants de grande intensité, et qui s'applique aussi bien aux courants alternatifs qu'aux courants continus, consiste à employer de la manière suivante l'électromètre à cadran de Sir W. Thomson.

On supprime toute source étrangère d'électricité pour charger soit l'aiguille, soit les cadrans; les deux paires de cadrans sont isolées, et l'une d'elles est mise en communication électrique permanente avec l'aiguille également isolée.

La formule générale de l'électromètre

$$d = k\,(V_1 - V_2)\left(V - \frac{V_1 + V_2}{2}\right),$$

dans laquelle d est la déviation de l'aiguille, V_1 et V_2 les potentiels

des cadrans et V celui de l'aiguille, se réduit dans le cas actuel, où $V = V_1$, à

$$d = \frac{k}{2}(V_1 - V_2)^2.$$

La déviation est proportionnelle au carré de la différence des potentiels des deux cadrans, et, par suite, indépendante du signe de cette différence.

Il suffit, pour déterminer la constance, de mettre les deux cadrans en communication avec les pôles d'une pile d'éléments Daniell bien isolés et d'observer la déviation correspondante. En faisant varier le nombre des éléments, on s'assure que, dans des limites très étendues, la déviation est bien proportionnelle au carré du nombre des éléments.

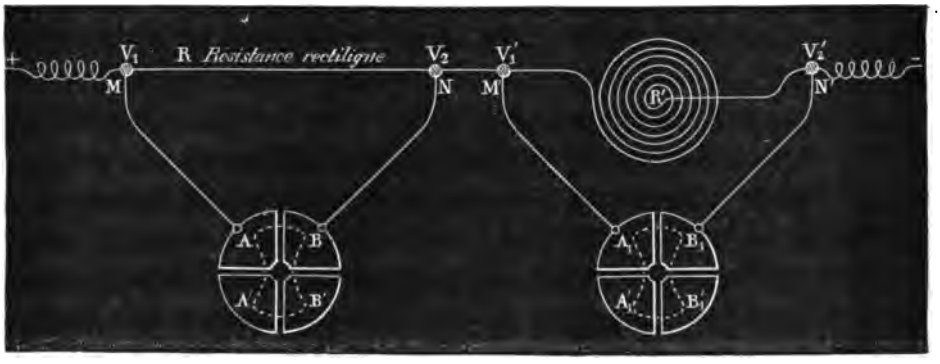

Fig. 22.

Supposons d'abord les cadrans mis en communication avec deux points M et N d'un circuit traversé par un courant continu d'intensité I. Soient V_1 et V_2 les potentiels des deux points A et B, et R la résistance du conducteur qui les sépare ; l'intensité du courant est donnée par la formule

$$I = \frac{V_2 - V_1}{R} = \frac{a}{R}\sqrt{d},$$

en posant $a = \sqrt{\frac{2}{k}}$.

L'emploi du même instrument donnera facilement le travail consommé dans un moteur électrique, un arc électrique ou tout autre engin capable de transformer l'énergie électrique en quelque autre forme de l'énergie. Il suffit de mettre les deux cadrans en communication avec deux points M′ et N′ pris de part et d'autre du moteur, par exemple, que l'on considère, et dont les potentiels sont V_1' et V_2'. Dans ce cas, il y a à con-

sidérer, outre la résistance R′ du moteur en repos, la force électromotrice inverse E dont il est le siège pendant le mouvement ; l'équation devient, en appelant d', la nouvelle déviation

$$E + IR' = V'_2 - V'_1 = a\sqrt{d'}$$

l'énergie consommée entre les deux points M′ et N′ a pour expression

$$I(E + IR') = \frac{V_2 - V_1}{R}.(V'_2 - V'_1) = \frac{a^2}{R}\sqrt{dd'}.$$

Si, au lieu d'un courant continu, on a affaire à des courants alternatifs se succédant à des intervalles petits relativement à la durée des oscillations de l'aiguille, celle-ci, entraînée toujours dans le même sens, quel que soit le sens du courant, prend une déviation fixe, proportionnelle à la moyenne des valeurs successives du carré de (V_2-V_1). Cette moyenne est celle que donnerait l'emploi des méthodes calorimétriques ou de l'électro-dynamomètre.

L'emploi de l'instrument ainsi disposé ne le cède en rien, pour la simplicité et la précision, à celui d'un galvanomètre pour les courants continus. Rien n'est plus facile, avec une suspension bifilaire à écartement variable, que de donner à l'instrument une sensibilité convenable. Une précaution est indispensable : c'est de n'interposer entre les deux points M et N du circuit que des résistances disposées de manière à éviter les effets secondaires d'induction. De gros charbons placés parallèlement et de manière que le courant les traverse alternativement en sens inverse, conviennent très bien pour les forts courants.

La même méthode donne un moyen très simple de déterminer le coefficient de self-induction d'une bobine, à la condition de faire passer dans le circuit un courant satisfaisant à la relation

$$i = A \operatorname{Sin} 2\pi \frac{t}{T}.$$

On obtient facilement un courant de cette forme en faisant tourner une bobine d'un mouvement uniforme dans un champ magnétique constant, comme celui de la terre, ou au moyen de certaines machines magnéto-électriques à courants alternatifs telles que la machine Siemens destinée à la production de la lumière électrique, qui satisfait très exactement à cette condition.

Si on appelle R la résistance de la bobine, L son coefficient de self-induction, d la déviation de l'électromètre quand les cadrans sont en com-

munication avec les deux extrémités de la bobine, d' la déviation qui correspond à une résistance rectiligne R′ placée dans le même circuit, on a

$$\frac{R^2 + \frac{4\pi L^2}{T^2}}{R'^2} = \frac{d}{d'},$$

et par suite

$$L = \frac{T}{2\sqrt{\pi}} \left(R'^2 \frac{d}{d'} - R^2\right)^{\frac{1}{2}}.$$

l'expression ne dépendant que de la durée de la période, des résistances R et R′ et du *rapport* des déviations de l'électromètre; le coefficient L est obtenu en valeur absolue et peut l'être avec une grande précision.

Sir W. Thomson (Grande-Bretagne). Deux questions viennent d'être abordées par M. Joubert, la mesure des intensités et celle des potentiels, particulièrement dans le cas des courants alternatifs.

Pour la mesure des intensités, l'électro-dynamomètre de petite résistance de M. Siemens me paraît un instrument également très commode et très pratique.

Pour la mesure des potentiels, dans le cas des courants alternatifs, la solution de M. Joubert est la seule exacte : elle est à l'abri des effets secondaires d'induction et donne rigoureusement la valeur de l'intégrale

$$\int (V_1 - V_2)^2 dt.$$

Quant à la valeur du travail qui est donnée par l'expression :

$$\int R I^2 dt,$$

on pourra, en effet, la déduire rigoureusement de l'indication de l'électromètre, dans le cas d'une résistance *fixe*.

Lorsque la résistance du circuit est *variable*, dans une lampe électrique, par exemple, je ne connais, avec les courants *alternatifs*, aucune méthode qui donne

$$\int (V_1 - V_2)^2 I dt.$$

Pour les courants *continus*, on se sert d'une bobine fixe d'un petit nombre de tours, placée dans le circuit général, et d'une bobine mobile de 2,000 à 3,000 mètres de fil fin branchée entre les points utiles du circuit. Cette méthode n'est pas applicable aux courants alternatifs.

M. Marcel Deprez. J'ai présenté, il y a deux ans, à l'Académie des

sciences un appareil identique à celui que vient de décrire Sir W. Thomson.

M. Joubert. Il est certain que dans le cas d'une lampe dont la résistance R′ ne serait pas constante, la méthode que je viens d'indiquer ne serait plus rigoureuse.

Sir W. Thomson. Pendant la période variable, la résistance utile change beaucoup. Ce changement se produit aussi bien dans l'arc voltaïque que dans les lampes à incandescence ; la solution, à ce point de vue, n'est donc pas complète.

M. le Président pense que la question n'étant point de celles qui entraînent un vote du Congrès, il y a lieu de clore la discussion en se contentant d'insérer les communications au compte rendu.

M. Raynaud (France) appelle l'attention de la Section sur l'intérêt que présenterait l'adoption d'une durée fixe pour la mise en communication des condensateurs avec la source, dans les expériences où entrent les capacités inductives spécifiques. Ainsi, dans les formulaires de télégraphie sous-marine, on admet que la capacité inductive spécifique de la gutta-percha est 4,2. Cette valeur correspond-elle à une charge de 1 minute, de 15 ou de 10 secondes ? Ces diverses durées sont employées par les électriciens dans les mesures relatives aux câbles. Il serait utile de connaître la capacité inductive spécifique correspondant à ces diverses durées.

M. Werner Siemens (Allemagne). La composition des gutta-percha est très variable avec leur provenance, leur fabrication, etc.

Les capacités inductives spécifiques peuvent différer d'un tiers.

On ne peut donc pas espérer avoir un coefficient constant.

M. Helmholtz (Allemagne). Il faut distinguer dans les diélectriques deux choses :

1° La *qualité électrique* définie par Faraday comme correspondant à une polarisation moléculaire instantanée de la masse entière ;

2° Le *résidu électrique* qui se produit par une sorte de conduction dans l'intérieur.

Clerk Maxwell suppose que, dans un milieu isolant ou peu conducteur, il existe des molécules plus conductrices où les électricités positive et négative se séparent. Si l'on décharge les armatures métalliques d'un condensateur, ces molécules ne perdent que lentement leur charge et induisent de nouveau de l'électricité à leur surface, c'est le phénomène résiduel.

Des expériences montrent que, pour le soufre et la paraffine, la durée des charges, qu'elle soit de 1 seconde ou de 1 centième de seconde, est sans influence. Pour le verre, au contraire, il faut réduire cette durée à

1 millième de seconde pour que la valeur trouvée concorde avec les prévisions de Maxwell sur la proportionnalité de la capacité inductive spécifique au carré de l'indice de réfraction.

Parmi les fluides, la benzine possède un grand pouvoir isolant. Suivant M. Hertz, elle ne présente pas de phénomènes résiduels quand elle est bien sèche ; mais les moindres traces d'eau font apparaître les résidus et semblent jouer le rôle des molécules plus conductrices dont on a parlé plus haut. Du verre ou de la craie pilée, mis dans de la benzine, font également apparaître des phénomènes résiduels. Dans ces conditions, on comprend que les phénomènes résiduels varieront pour la gutta-percha avec la provenance, la fabrication, etc., et qu'on ne saurait donc définir la capacité inductive spécifique de la gutta-percha.

M. Raynaud (France) insiste sur l'intérêt pratique de sa question. Les formules qui donnent théoriquement la capacité et la résistance d'un câble par mille marin, dépendent de la capacité inductive spécifique, et cette capacité varie avec la durée de la charge. Il importe donc que cette durée soit toujours la même dans les expériences comparatives, et que l'on soit fixé sur la valeur correspondante de la capacité spécifique du diélectrique considéré.

M. Rowland (États-Unis) a démontré que les cristaux homogènes ne présentent pas de charge résiduelle.

M. James Moser (Allemagne). On peut préparer une plaque d'ébonite dont les deux côtés sont chargés de quantités positive et négative inégales. Ce fait ne semble pas concorder avec la théorie de Clerk-Maxwell, mais il ne contredit pas celle de Faraday.

M. Sylvanus Thompson (Grande-Bretagne). On distingue, en Angleterre, deux capacités inductives spécifiques. Avec la balance d'induction statique de M. Gordon, en changeant 12,000 fois par seconde le sens de la charge d'un condensateur à lame de verre, on trouve que la valeur de la capacité inductive spécifique varie entre 2 et 4, tandis qu'avec des charges et décharges lentes, M. Hopkinson a trouvé entre 3 et 10. Dans les mesures pour les câbles il faut employer ces alternances rapides.

Sir W. Thomson (Grande-Bretagne). Dans la pratique, il n'y a pas de différence sensible entre la décharge lente et la décharge rapide. Des expériences ont été faites avec une bouteille de Leyde dont les lames sont représentées par de l'acide sulfurique et des tiges en plomb. Une décharge durant moins de 1 millième de seconde était effectuée par une balle frappant un plan élastique. La mesure des potentiels des résidus

confirme les idées de Faraday à l'encontre de celles de Gaugain. Il n'y a pas 1 pour 100 de différence entre une décharge durant 2 millièmes de seconde ou une demi-seconde.

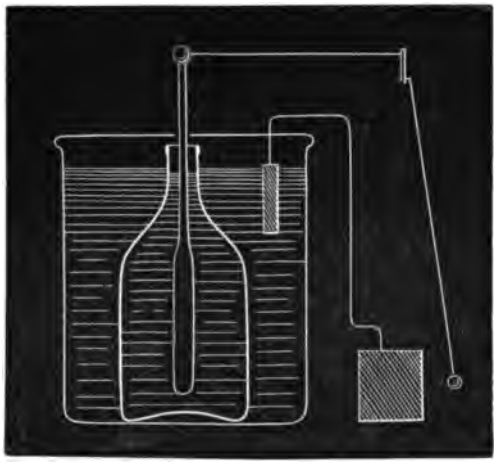

Fig. 23.

M. Helmholtz (Allemagne). Ces explications lui font croire qu'il n'a pas, jusqu'ici, compris la théorie de Faraday. S'il y a un résidu électrique entre les plaques, il doit y avoir dans ce phénomène autre chose que la polarisation instantanée de Faraday.

Sir W. Thomson (Grande-Bretagne). Je crois ne rien avoir dit contre la théorie de Faraday. La capacité électro-statique du verre, sans conduction, varie seulement de 1 pour 100 dans les conditions indiquées.

M. Helmholtz (Allemagne). Les mots ont été employés dans des sens différents. La capacité de la bouteille ou d'un câble souterrain est égale à la charge totale divisée par la différence des potentiels. Dans l'expérience décrite par Sir W. Thomson, on ne mesure que la décharge instantanée.

Sir W. Thomson. Le résidu instantané est égal à zéro. J'ai fait autrefois des expériences très précises avec un condensateur à air et une bouteille de Leyde, et par une méthode qui paraît la meilleure pour comparer la capacité des câbles.

Sur le fil connectif d'une pile et dans une portion rectiligne, on prend trois points successifs équidistants A, O et B (fig. 24). Les deux premiers A et O peuvent être mis en communication avec les deux armatures d'une bouteille de Leyde ordinaire, les deux derniers O et B avec les armatures d'un condensateur à air.

On supprime les communications avec A et B et on réunit les deux condensateurs par leurs armatures de signes contraires. Si les capacités sont égales, la charge est nulle, et reste nulle quelle que soit la durée du contact de décharge. Si les capacités ne sont pas égales, on rétablit l'égalité des charges en choisissant convenablement les distances des trois points A, O, B.

Ces expériences ne réussissent bien qu'avec des bouteilles dont l'isole-

ment est parfait; la perte ne doit pas dépasser 50 pour 100 en six mois.

Quant à la charge résiduelle, elle se comporte de la manière suivante : une fois la bouteille déchargée, si l'on isole les armatures, le potentiel croît, passe par un maximum, puis diminue très lentement.

Si la bouteille a reçu d'abord une charge positive pendant plusieurs semaines, puis une charge négative pendant vingt-quatre heures, et une nouvelle charge positive pendant cinq minutes, le potentiel résidu peut même subir des oscillations alternativement positives et négatives.

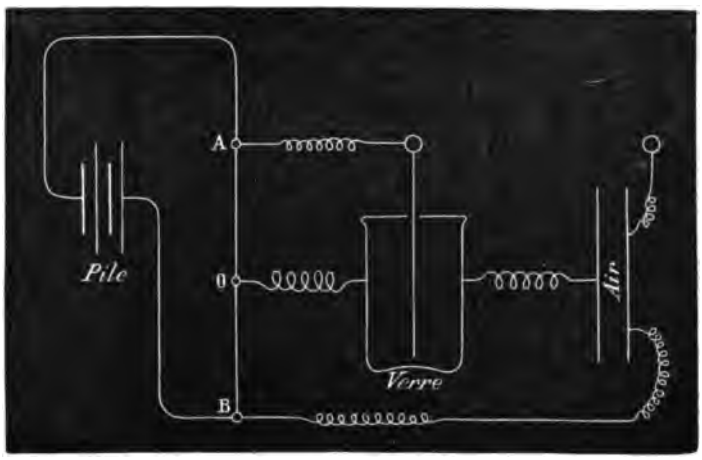

Fig. 24.

M. Mascart. Avec l'assentiment de Sir William Thomson, je désire ajouter quelques mots sur les travaux de Gaugain, auxquels il a été fait allusion.

Gaugain a établi par de nombreuses expériences publiées à la suite de son premier mémoire, et qui rectifient sa première opinion contestée dans la séance, les deux propositions suivantes :

1° La charge d'un condensateur, pour une différence donnée de potentiel, augmente avec la durée de communication à la source. Cette charge n'est bien définie que si le contact est assez court.

2° La décharge dite *instantanée*, c'est-à-dire celle qui correspond à une communication des armatures pendant un temps qui peut varier de $\frac{1}{1000}$ de seconde à 1 ou 2 secondes, est sensiblement constante et indépendante de la charge, pourvu que la même différence de potentiel soit atteinte dans tous les cas; cette décharge instantanée correspond exactement à la charge courte.

L'excès de la charge totale sur la décharge instantanée représente, si l'on met à part les effets de conduction, la charge résiduelle.

Sans entrer dans aucune considération théorique sur l'état et la constitution des diélectriques, je crois que ces résultats ne présentent aucune contradiction avec les vues de Faraday et les expériences citées par Sir William Thomson.

M. le Président. La première Section vient d'épuiser son ordre du jour et termine ainsi ses travaux. Je dois, avant de lever la séance, remercier la Section de l'honneur qu'elle m'a fait en m'appelant au fauteuil. Je dois aussi rendre hommage à l'esprit de conciliation qui s'est retrouvé dans toutes les discussions, et qui a rendu ma tâche si facile.

Sir William Thomson. Je crois être l'interprète de la pensée de la Section tout entière en déclarant que les travaux ont été si heureusement menés à bonne fin grâce à l'impartialité bienveillante de son illustre président, M. J.-B. Dumas.

M. le Président. Je n'oublierai jamais, pour ma part, le spectacle magnifique offert à la France par ce mémorable Congrès, et je crois pouvoir remercier en son nom les savants illustres qui se sont livrés dans cette enceinte à toutes les improvisations de leur génie.

La séance est levée à midi cinq minutes.

ANNEXE I

NOTE DE M. STOLETOW.

Maintenant que nous avons si heureusement fini avec la question des unités, je voudrais profiter du moment pour appeler l'attention du Congrès sur un problème intimement lié avec le premier. Le système des unités électro-magnétiques a été adopté comme le plus commode ; mais dans la science on ne saurait se débarrasser définitivement de l'autre système : l'électro-statique, basé, naturellement, sur les mêmes unités, le centimètre, le gramme et la seconde. En déterminant avec toute la précision possible le rapport entre ces deux systèmes d'unités, on rendrait justice à cet autre système, mais encore ferait-on quelque chose de plus : ce serait contribuer à l'éclaircissement de l'un des plus beaux problèmes de la physique moderne.

Les rapports entre les unités correspondantes des deux systèmes s'expriment, on le sait, à l'aide d'une certaine *vitesse*. D'après la théorie ébauchée par feu Clark-Mawell et reprise par M. Helmholtz, ce serait la vitesse de la propa-

gation des effets électro-magnétiques dans le milieu où se font nos expériences, (dans l'air), ou bien, ce qui est ici à peu près la même chose, dans le vide (l'éther). Or, tout porte à croire que cette vitesse n'est autre chose que la vitesse de la lumière, relation qui paraît exister aussi pour d'autres milieux diélectriques et qui constitue le point de départ d'une nouvelle branche de physique, l'électro-optique.

Après les premières recherches sur cette vitesse électro-magnétique faites en 1856 par Weber et Kohlrausch, plusieurs physiciens se sont occupés des expériences de ce genre, et dans ce moment nous avons un nombre de résultats qui tendent de plus en plus à confirmer l'identité que j'ai indiquée. Mais pour trancher définitivement la question, il faut d'autres conditions que celles où se trouve un savant isolé dans un laboratoire ordinaire. L'électro-dynamique offre plusieurs méthodes pour déterminer la vitesse de la lumière, en supposant que c'est la même chose, méthodes plus faciles et plus exactes peut-être que celles qui sont prêtées par l'optique et l'astronomie. Mais il s'agit des mesures exactes de longueur, de temps et de résultats électriques. Moi-même je suis depuis quelques années engagé dans ce genre de recherches, et je sais par expérience combien la tâche est difficile.

Maintenant que nous allons avoir une Commission internationale pour déterminer la valeur de l'ohm, n'y aurait-t-il pas lieu de profiter de l'occasion qui se présente? N'y aurait-il pas lieu de recommander à cette Commission de faire une détermination exacte de la vitesse électrique, ou bien de prêter son secours et son appui à ceux qui voudraient s'engager dans ces recherches? Un but essentiellement pratique — une fixation de l'unité de résistance, — tel est le point de départ de la Commission; c'est là son premier devoir direct, sa raison d'être; mais nous n'aurons qu'à gagner, si un autre problème purement scientifique, mais qui se rattache naturellement au premier, peut être résolu ou du moins facilité à côté de celui-ci.

ANNEXE II

NOTE DE M. BRILLOUIN

Il s'agit de mesurer l'intégrale $\int_0^t \mathrm{I}\,\mathrm{E}\,dt$. Pour cela on cherche un appareil qui donne la valeur moyenne $\left(\frac{1}{t}\int \mathrm{I}\,\mathrm{E}\,dt\right)$, en sorte que le produit de l'indication de l'instrument par le temps fournit la valeur demandée. M. Deprez se sert de l'électro-dynamomètre, en plaçant une des bobines, de faible résistance, dans le circuit principal, et l'autre, de très grande résistance, en dérivation. Lorsque les deux courants, principal I et dérivé i, sont constants, l'appareil me-

sure $\frac{1}{t}\int_0^t \mathrm{I}\,i\,dt$, quantité proportionnelle à celle qu'on veut connaître. Mais lorsque les deux courants I, i sont variables, on ne sait plus à quoi correspond la quantité $\frac{1}{t}\int_0^t \mathrm{I}\,i\,dt$ que mesure l'instrument.

Lorsque des courants périodiques traversent des circuits sans capacité, j'ai établi que le partage des *quantités d'électricité* pendant une période suit les lois d'Ohm ; c'est-à-dire, dans le cas particulier, que l'on a, malgré l'induction,

$$\frac{1}{T}\int_0^{\mathrm{T}} \mathrm{E}\,dt = \frac{1}{T}\,r\int_0^{\mathrm{T}} i\,dt,$$

r, résistance du circuit dérivé,
i, intensité qui le traverse,
E, différence de potentiel entre ses deux extrémités, à quelque cause qu'elle soit due,
T, durée d'une période.

Mais il est impossible d'en tirer aucune relation entre l'intégrale $\frac{1}{\mathrm{T}}\int_0^{\mathrm{T}} \mathrm{E}\,\mathrm{I}\,dt$ que l'on veut connaître, et celle $\frac{1}{T}r\int_0^{\mathrm{T}} i\,\mathrm{I}\,dt$ que l'on mesure. (Il faut excepter le cas particulier, d'ailleurs dénué d'intérêt, où, i étant seul variable périodiquement, I serait constant, auquel cas les deux intégrales seraient égales).

COMMISSION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES

PREMIÈRE SÉANCE

16 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures dix minutes.

M. LE PRÉSIDENT invite Messieurs les Membres de la Commission à vouloir bien formuler leurs propositions par écrit, afin que les discussions puissent porter sur des textes précis.

M. RAYNAUD (France) désire donner quelques renseignements au sujet de l'allusion faite par M. Wiedemann à un vote international qui aurait décidé l'adoption de l'unité Siemens. A la Conférence des administrations télégraphiques, tenue à Vienne en 1868, M. Von Chauvin, dans la dernière séance, appela, d'une façon tout à fait incidente, l'attention des membres sur l'utilité d'expériences comparatives sur les fils télégraphiques, et proposa de prendre à cet effet l'unité Siemens. Il n'y eut pas de discussion, il ne s'agissait que d'un vœu. Les administrations se sont considérées comme tellement peu engagées par ce vœu que, dès l'année suivante, la question étant venue en discussion devant la Commission de perfectionnement des télégraphes de France, M. Gaugain, rapporteur, conseillait de prendre comme unité celle qui était le plus généralement adoptée par la pratique dans les divers pays. En fait, ce sont les besoins de la télégraphie sous-marine qui ont fait employer les unités Siemens, tant que l'on s'est trouvé en rapport avec cette maison, et les unités B A du jour où l'on a dû traiter avec d'autres maisons. Actuellement, les mesures relatives à la majeure partie des câbles posés, sont exprimées en unités B A. Ce qui est désirable, ce n'est point l'adoption de telle ou telle unité, mais bien l'adoption

d'une unité commune, choisie de façon à ne point introduire de coefficients numériques dans les calculs qui se présentent chaque jour. Mais il ne faudrait pas accorder une portée qu'il n'a point au vote de la Conférence de Vienne de 1868.

M. Clausius (Allemagne) dit qu'il faut faire une grande différence entre la théorie et la pratique. La théorie distingue, en électricité, deux sortes de forces : les unes sont indépendantes des mouvements électriques et se déduisent aisément par les considérations de potentiel qu'ont introduites Laplace, Poisson et surtout Green; les autres dépendent du mouvement de l'électricité, et leur étude conduit à une fonction, dite potentiel électro-dynamique, qui doit être traitée d'une tout autre manière. On peut passer de l'une à l'autre de ces espèces de forces au moyen d'un coefficient qui a été déterminé par Weber, et qui paraît avoir un lien étroit avec la vitesse de la lumière.

Malgré les quelques difficultés que soulève la considération des forces électromotrices, les phénomènes d'électro-statique et ceux relatifs aux courants galvaniques sont relativement simples. Il n'en est plus de même pour les phénomènes de magnétisme et d'induction, et l'on peut se demander à laquelle de ces deux classes de phénomènes on demandera la définition des unités fondamentales. Weber a choisi les phénomènes magnétiques pour se rattacher aux unités mécaniques, mais il est plus commode de prendre les phénomènes électro-statiques; on a immédiatement une définition de la quantité d'électricité, et, en y joignant la notion du temps, on a la définition de l'intensité, c'est-à-dire le moyen d'aborder l'étude des courants. De là on passera à l'électro-dynamique au moyen du facteur de Weber. La théorie se trouve donc satisfaite.

Quant à la pratique, il est certain qu'il faut avoir des unités qu'il soit aisé de reproduire et de comprendre; et, en ce sens, il n'y a rien de mieux que l'unité de résistance Siemens et l'unité d'intensité déterminée par la mesure d'une action chimique dans un voltamètre.

M. Clausius se réserve d'ailleurs de soumettre des propositions écrites à la Commission.

M. Maurice Lévy (France) accepte les considérations théoriques exposées avec tant d'autorité par M. Clausius, en ceci que les phénomènes électro-dynamiques sont d'une nature plus compliquée que les phénomènes électro-statiques. Il ne s'agit pas de déterminer ces forces soit électro-statiques, soit électro-dynamiques, mais seulement leurs dimensions, et de désigner l'unité de longueur, l'unité de temps et l'unité de masse. Or ceci peut se trouver tout aussi facilement pour les forces électro-dynamiques que pour les

forces électro-statiques, et il est très facile de passer des unes aux autres au moyen d'un simple coefficient qu'on sait être une vitesse.

Quelques membres ont demandé si le moment était bien venu d'établir des étalons de mesure, et si les connaissances que l'on possède actuellement en électricité n'étaient pas insuffisantes pour que l'on pût faire des déterminations exactes. C'est là un raisonnement qui pourra toujours se faire, car toujours les méthodes iront en se perfectionnant : on ne s'est pas arrêté devant de pareilles difficultés quand il s'est agi de créer le système métrique. A l'approximation que l'on pouvait obtenir à cette époque, le mètre représentait la quarante-millionième partie du méridien. Nous savons aujourd'hui que cette évaluation n'est pas rigoureuse, et nous nous bornons à exprimer la longueur du méridien en mètres au moyen d'une légère correction numérique. Il en sera de même pour les étalons électriques et leur utilité ne sera en rien diminuée parce que leur mode d'attache aux unités fondamentales cessera d'être décimal.

M. Wiedemann (Allemagne) demande que l'on remplace le nom d'unités absolues par celui d'unités rationnelles. Tout système est rationnel qui est fondé sur la considération de trois unités fondamentales. La véritable différence entre le système dit absolu et le système des unités pratiques, est que les unités fondamentales ont été choisies, dans l'un en vue des recherches scientifiques, et dans l'autre en vue des applications; et c'est là la véritable voie dans laquelle on doit rester.

Les questions que devrait décider la Commission sont les suivantes :

1° *Quelles unités fondamentales on emploiera pour la théorie?* Cela fait, tout le reste du système s'en déduira, unités électro-statiques et unités électro-magnétiques.

2° *Quelles unités fondamentales on emploiera pour la pratique?*

3° Enfin : *Quels sont les étalons les plus commodes à reproduire de ces diverses unités et en même temps les plus durables?* Mais, quelle que soit la façon dont cette dernière question sera résolue, les deux systèmes de mesure devront être conservés : leur existence et leur emploi n'ont rien à voir avec la matière ou la nature des étalons.

M. le professeur Everett (Grande-Bretagne) est également d'avis que les deux systèmes ont une égale importance théorique; mais il ajoute que, dans l'application, où l'on ne s'occupe guère que de courants, le système électro-magnétique est d'un usage bien plus fréquent, et que par suite il mériterait la préférence.

M. le professeur Stoletow (Russie) fait remarquer qu'au point de vue de la simplicité, les deux systèmes se valent, car chacun d'eux est plus

commode que l'autre, quand on s'occupe de phénomènes de même nature. D'ailleurs ils devraient être gardés tous deux pour rappeler le lien qui semble exister entre l'électricité et la lumière. Encore pourrait-on accorder une certaine préférence au système électro-magnétique pour ne pas rompre avec les travaux de l'Association britannique et pour tenir compte des besoins de la pratique. Mais peut-être serait-il bon, tout en conservant comme unité l'*Ohm* théorique, de faire avec le mercure des étalons plus précis. Si l'on adoptait l'unité Siemens, on abandonnerait la base scientifique du système, et ce n'est pas désirable.

M. Spottiswoode (Grande-Bretagne) donne lecture de quatre propositions présentées par Sir William Thomson, par M. Moulton et par lui :

1° On doit établir des étalons matériels pour les mesures électriques;

2° Les unités seront basées sur le système métrique;

3° Le système électro-magnétique est par lui-même d'une importance capitale dans les mesures électriques, et les unités destinées à la pratique doivent être fondées sur les actions électro-magnétiques;

4° Les étalons approchés, établis par les mesures faites par l'Association britannique sur les résistances absolues, doivent être soumis à de nouvelles expériences dont il résultera des étalons plus voisins de la définition théorique.

M. le professeur Ayrton (Grande-Bretagne) demande si l'on veut créer un système rationnel. Or le système BA est le seul rationnel qui existe. Les erreurs qu'on lui reproche ne sont que des erreurs d'expérience, comme il s'en produira toujours, et ne sont pas des objections contre le système lui-même. Que si on allègue la commodité de la reproduction, on n'aura qu'à prendre une colonne de mercure ayant à peu près 104 centimètres au lieu de 100 pour obtenir l'Ohm, et l'on reste alors dans un système scientifique. M. le professeur Ayrton dit qu'il appuiera les propositions de Sir William Thomson, car le système BA permet seul, ce qui est de la plus haute importance, d'obtenir aisément les relations entre le travail mécanique et les quantités électriques; bien plus, il pense que peut-être le jour n'est plus éloigné où les ingénieurs renonceront à évaluer le travail en chevaux-vapeur pour adopter l'unité rationnelle qui est l'*erg*, et qui les débarrassera de tout facteur numérique.

M. Moulton (Grande-Bretagne) estime qu'il faut prendre les questions successivement; on n'a en réalité que peu de points à décider, car tout le monde admet la nécessité d'avoir des étalons, tant pour la théorie que pour

la pratique, et de les avoir aussi durables que possible. De plus, tout le monde est d'accord sur l'emploi du système métrique. La troisième question est plus délicate, car il n'est pas facile de satisfaire les savants, et il n'est pas aisé de décider si l'on doit prendre le système électro-statique ou le système électro-magnétique. Cependant il n'y a pas de moyen terme et il faudra bien qu'un vote de la Commission tranche la question; pour lui, considérant d'une part l'importance pratique des mesures électro-magnétiques, d'autre part la difficulté d'avoir des étalons électro-statiques, il espère que le système électro-magnétique sera adopté.

Admettant qu'il en soit ainsi, quelles raisons pourraient avoir les savants de renoncer aux mesures absolues? On doit songer à l'avenir. Si l'on établit maintenant des unités rationnelles de grandeurs commodes pour la pratique, il y a lieu de croire qu'elles seront adoptées à jamais. Mais si on recule devant ce travail, il sera fait plus tard; et tandis que maintenant, au moment où la science électrique commence seulement à se développer, la réforme est aisée, elle sera très difficile et très gênante à appliquer plus tard.

On dit que l'unité Siemens est facile à reproduire dans le laboratoire; il n'en est rien, et mettant en dehors toute la peine que l'on a à calibrer le tube de verre, à le mesurer exactement, à purifier le mercure, etc., ce sera toujours un étalon bien fragile. Quelle est la raison d'ailleurs qui empêche de reproduire l'*Ohm* par ce même procédé?

En résumé, le travail de l'Association britannique a déjà été très utile, mais des erreurs ont été commises qui ne peuvent plus être admises en l'état actuel de la science. Il faut donc faire une détermination nouvelle et créer une unité aussi voisine que possible de la vérité.

M. Mascart (France) croit devoir répondre à certaines observations faites, dans la séance du matin, sur le kilogramme des Archives, par M. Broch en particulier. Il est bien vrai que le kilogramme des Archives, accepté comme étalon légal, ne répond pas d'une manière absolue à la définition théorique et doit, à ce point de vue, être considéré comme un étalon indépendant. Toutefois, l'erreur commise par les fondateurs du système métrique est certainement très petite, absolument négligeable dans la pratique industrielle et même dans le plus grand nombre des questions scientifiques. On doit donc considérer le kilogramme comme réellement rattaché au système métrique.

Au contraire, si la Commission internationale du mètre s'était trouvée en présence d'un étalon manifestement en erreur d'une quantité notable, il est probable qu'elle ne l'eût pas accepté.

Il en est de même pour les mesures électriques. On doit donner à l'industrie des unités rattachées au système absolu avec un degré d'approximation tel, que la différence soit négligeable dans la pratique, tout en se réservant d'en déterminer la valeur avec toute l'exactitude que comporteront les progrès successifs des méthodes scientifiques.

M. le professeur Govi (Italie) ne peut accepter l'interprétation que M. Mascart donne à la décision de la Commission internationale du mètre. Ce n'est pas parce que l'on croyait le kilogramme des Archives exact qu'on l'a conservé, mais bien parce qu'on ne voulait porter aucune atteinte au système métrique tel qu'il existe. Bien au contraire, la Commission se propose de reprendre cette question dès qu'elle en aura les moyens, et de faire connaître le poids vrai d'un décimètre cube d'eau en fonction du kilogramme des Archives.

Sir William Thomson (Grande-Bretagne) ne croit pas le kilogramme des Archives aussi mauvais que le dit M. le professeur Govi. Les résultats obtenus par M. Miller, l'un des expérimentateurs les plus minutieux qui aient jamais existé, lui accordent au contraire une précision très grande, suffisante non seulement pour les besoins de la pratique, mais encore pour ceux de la science. La densité de l'eau à 4 degrés n'est pas 1, mais 1,00013.

Revenant à la question des unités, sir William Thomson déclare que la première des propositions déposées par M. Spottiswoode est indiscutable. Relativement à l'établissement des étalons, deux questions se posent, car on a à considérer la reproduction de l'étalon légal et la fabrication commode des copies de cet étalon.

Pour l'étalon légal on pourra employer la méthode de M. Siemens, car on peut faire avec une très grande exactitude des déterminations de longueur et de poids, et par ces moyens on peut très bien calibrer un tube. On peut aussi purifier très complètement le mercure. On sera donc amené à demander : comment faire l'étalon légal le jour où il sera établi que l'on obtient des résultats plus sûrs par la méthode Siemens que par l'emploi d'un fil. Mais c'est là affaire d'expérience seulement.

Pour la seconde proposition : *Il devra se rapporter au système métrique*, tout le monde est d'accord.

Quant à la troisième proposition, le système électro-magnétique présente une très grande importance d'application; l'orateur rappelle de plus que quiconque a pratiqué ces mesures sait qu'il est difficile d'avoir de bons électromètres, tandis qu'une simple boussole de tangentes, un instrument très ordinaire, permet à un opérateur, même peu exercé, d'obtenir très exactement la mesure absolue des courants. Aussi le système élec-

tro-magnétique doit-il être conservé, ne fût-ce qu'en raison de l'emploi si étendu des machines dynamo-électriques; un grand progrès sera réalisé le jour où l'on sera capable de mesurer l'intensité, dans le champ magnétique, d'une machine dynamo-électrique, et il n'y aurait aucun intérêt à échanger les unités actuelles (BA) contre d'autres dans lesquelles l'approximation ne serait pas plus grande; mais, dans l'unité à établir, il faudra s'approcher autant que possible de l'unité théorique indiquée par la théorie de l'électro-magnétisme.

Enfin on a dit que l'unité Siemens était plus aisée à comprendre; mais une « vitesse de 1 centimètre par seconde » parle plus à l'esprit qu'une « colonne de mercure de 1 mètre de long et 1 millimètre carré de section. »

M. Raynaud dit que puisque la question est posée sur la permanence des étalons actuels, on pourrait en peu de temps obtenir des indications précieuses. Il faudrait reprendre les expériences de l'Association britannique dans les mêmes conditions, avec les mêmes appareils, avec les mêmes coefficients et les mêmes corrections, qu'elles soient exactes ou non. On obtiendrait ainsi le moyen de mesurer à nouveau tous les anciens étalons, de voir quel est celui d'entre eux qui a le moins varié, et on ferait des étalons provisoires semblables à celui-là.

M. le Dr William Siemens (Grande-Bretagne) pense qu'il ne peut y avoir hésitation sur la question du mètre et que l'emploi d'un système scientifique s'impose; il croit que le système électro-magnétique est préférable au système électro-statique; mais, avant tout, il faut mettre en harmonie les diverses parties de ce système et en éliminer les erreurs autant que possible. Une nouvelle détermination paraît donc nécessaire.

Les étalons BA, faits d'une matière solide, sont sujets à de graves objections, puisque leur constitution moléculaire change par l'effet des courants, de la température et même du temps. Au contraire, la constitution moléculaire du mercure ne change pas, et l'on peut purifier aisément ce métal par la distillation. On ne peut répondre qu'il est inutile de reproduire les étalons, qu'on les conservera dans quelque dépôt et qu'on en fera des copies; un étalon doit être durable et ceux faits d'un métal solide varient : il faut donc pouvoir reproduire l'étalon. Il n'y a pas opposition entre les deux sortes d'unités; il faut donc un système scientifique fondé sur un étalon aisé à reproduire.

M. Ayrton fait remarquer qu'il y a deux questions bien différentes. l'Association britannique a essayé de combiner des unités; la Commission actuelle s'occupe de construire des étalons de ces unités. On doit donc

décider à part quelle sera l'unité et quel métal servira à réaliser matériellement cette unité.

M. Clausius dit que sans doute il est plus aisé de faire des mesures électro-magnétiques, mais que cet avantage est secondaire si l'on distingue l'unité scientifique de l'étalon pratique.

La théorie d'Ampère avait l'avantage de relier les phénomènes électriques et les phénomènes magnétiques, mais par un lien assez compliqué.

Si l'on veut conserver cette théorie, il est rationnel de commencer par les phénomènes électro-statiques. M. Clausius annonce qu'il soumettra des propositions à la Commission, et demande que l'on ne prenne point de décision immédiate relativement au choix d'un système.

M. le Président met aux voix la première des propositions déposée par M. Spottiswoode, ainsi conçue :

On doit établir des étalons matériels pour les mesures électriques.

Sur la proposition de M. Werner Siemens, la discussion sur cette proposition est ajournée.

La deuxième proposition, ainsi conçue :

Les unités seront basées sur le système métrique,

est mise aux voix et adoptée.

M. le professeur Helmholtz (Allemagne) fait remarquer que, dans les mesures électro-statiques, les forces observées dépendent du pouvoir inducteur spécifique du milieu à travers lequel se produit l'induction électrique et que, dans les mesures électro-magnétiques, elles dépendent des qualités magnétiques du milieu dans lequel se fait l'induction électrodynamique.

Après ces observations, la troisième proposition est ajournée.

Sur la proposition de M. le Président, la Commission décide qu'elle tiendra séance le lendemain samedi 17 septembre, à deux heures.

La séance est levée à quatre heures.

DEUXIÈME SÉANCE

17 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures.

M. LE PRÉSIDENT explique qu'il serait trop long de lire le procès-verbal de la séance précédente, mais que chaque orateur recevra communication de la partie qui le concerne.

Sir William THOMSON (Grande-Bretagne) annonce qu'il est chargé de présenter à la Commission quelques propositions qui ont obtenu l'assentiment de plusieurs membres, et en premier lieu un projet de déclaration de M. le professeur Everett. (Voir Annexe I, page 236.) On ne saurait douter que l'application du système C. G. S. à toute espèce d'unités ne présente les plus grands avantages; les diverses quantités se définissent d'elles-mêmes, sans qu'il soit besoin de noms pour les distinguer et sans qu'il puisse y avoir ambiguïté. Il arrive fréquemment que l'on rencontre, et surtout dans les traités élémentaires, des nombres représentant, par exemple, des conductibilités calorifiques absolues; mais ces nombres n'ont de sens que si l'on définit en même temps les unités fondamentales dont on a fait usage, et, la plupart du temps, cette précaution indispensable est négligée, parce que les nombres ont été simplement copiés dans des traités d'ordre plus élevé. Au contraire, la proposition de M. le professeur Everett a précisément pour objet d'insister sur la nécessité de toujours faire connaître les unités fondamentales : pour les théoriciens, elle clora la question, car les hommes de science ne seront jamais embarrassés de ramener leurs calculs aux unités courantes. Cette proposition ne contient d'ailleurs qu'une recommandation, qu'un conseil que l'on peut mettre en tête du programme, sans préjuger en rien les résolutions à prendre ultérieurement.

M. MASCART (France) donne lecture d'une note au nom de M. Nys-

tröm, retenu dans une autre section ; le terme « intensité du courant » lui paraît tout à fait impropre et il propose de supprimer le mot, ainsi que l'unité relative à cet élément électrique, et de ne retenir que la notion de quantité, sauf à faire usage de deux étalons de quantité, le microfarad et le millifarad (= 1.000 microfarads), suivant qu'il s'agit d'électricité statique ou d'électricité dynamique. On n'aurait plus alors que trois unités : celle de résistance, celle de force électromotrice et celle de quantité. (Voir Annexe II, page 237.)

M. le professeur Everett (Grande-Bretagne) demande que l'on ajourne la discussion sur la note de M. Nyström, laquelle ne se rapporte pas tout à fait à la question présente.

Sur la demande de plusieurs membres, M. Mascart relit la proposition de M. Everett.

M. Moulton (Grande-Bretagne) se demande si c'est bien au commencement du programme de la Commission que la déclaration de M. Everett doit trouver sa place, et s'il ne conviendrait pas de la mettre plutôt à la fin.

M. Mascart dit que cette déclaration est le véritable préambule des propositions de la Commission, et demande qu'on la maintienne en tête.

Sir William Thomson appuie les observations de M. Mascart.

M. le professeur Förster (Allemagne) dit que les sujets soumis à l'appréciation de la Commission sont trop importants pour que l'on puisse prendre une décision sans avoir mûrement examiné les propositions ; il demande en conséquence que les votes de la Commission ne soient pas définitivement acquis, mais qu'après l'impression des propositions et leur distribution aux membres, il soit procédé à un nouveau scrutin.

M. le Président répond que les votes de la Commission sont forcément provisoires, et que c'est à la Section seule et même au Congrès qu'il appartient de prendre une résolution.

M. Govi (Italie) dit que les propositions qui seront présentées devant le Congrès avec l'autorité de la Commission ne peuvent être votées à la légère par celle-ci, et qu'il serait préférable que la Commission eût connaissance de ces propositions avant d'être appelée à se prononcer définitivement.

M. Dumas (France) accepte la manière de voir de MM. Förster et Govi.

M. Maurice Lévy (France) trouve trop généraux les termes de la déclaration Everett ; en effet, le système C. G. S., excellent en électricité, ne saurait s'appliquer aussi bien dans les questions mécaniques. Il n'est pas acceptable pour la France, non plus que pour les autres pays qui se sont

rattachés au système métrique français. En effet, le système C. G. S. ne se rattache pas à ce système; il constitue un système métrique nouveau, qu'on pourrait appeler le système métrique de l'Association britannique, et qui n'est pas celui de la Convention nationale. Dans ce dernier cas, si le centimètre est pris pour unité de longueur, l'unité de masse correspondante n'est pas du tout la masse d'un centimètre cube d'eau distillée à 4°,1, mais bien la masse de 980,88 centimètres cubes. La différence est donc grande.

Si l'Association britannique veut accepter cette dernière unité de masse, elle y trouvera l'avantage de faire disparaître les unités spéciales (la *dyne* et l'*erg*) qu'elle a été obligée de créer pour la force et le travail. Son système d'unités électriques serait réellement rattaché au système métrique, au vrai système, celui qui est adopté aujourd'hui par toutes les nations de l'Europe, sauf l'Angleterre. Ainsi modifiée, la proposition de M. Everett ne pourrait qu'être accueillie.

Sinon, M. Maurice Lévy estime qu'il ne faut adopter les unités C. G. S. que spécialement pour l'électricité, sauf à leur laisser faire d'elles-mêmes la conquête des autres branches de la science, la conquête du commerce et de l'industrie, si leurs avantages sont réels. Mais il est à prévoir qu'elles ne s'imposeront pas ailleurs qu'en électricité.

Sir William Thomson dit que, dans le but de lever toute objection et avec l'assentiment des auteurs de la proposition Everett, il propose, d'après l'avis de M. Mascart, de désigner le système sous le nom de système centimètre-gramme (masse)-seconde. Il fait observer, d'ailleurs, que la proposition Everett ne faisait point mention des unités mécaniques; enfin il ajoute que le gramme n'est point une unité de force, mais une unité de masse, et que rien n'est plus habituel que les mesures de masse, les pesées ayant pour objet de déterminer non des forces, mais des masses.

M. le professeur Förster, complétant sa première proposition, demande que le rapport qui devra être présenté à la Section au nom de la Commission, ne soit adopté et arrêté définitivement, que lorsqu'un projet imprimé aura été distribué aux membres de la Commission et soumis à leur examen.

M. le Président répond que la chose est bien entendue, et que les lectures actuelles sont seulement préalables et destinées à faire connaître l'opinion des différents membres de la Commission, toute détermination étant remise après l'impression des propositions.

M. Maurice Lèvy dit que la modification apportée par M. Mascart à la dénomination du système C. G. S. ne porte nullement sur les objections qu'il

a présentées précédemment. Il a toujours compris que le gramme était pris comme unité de masse, et c'est parce que le choix d'une pareille unité de masse rend le système C. G. S. peu susceptible d'entrer dans les usages de la mécanique, du commerce et de l'industrie, qu'il avait proposé une autre unité de masse. Il maintient donc toutes ses précédentes observations.

M. le professeur Everett répond que tous ces points n'ont pas besoin d'être décidés de suite.

M. Mascart insiste sur ce point, que le vote de la Commission est essentiellement provisoire, et qu'il n'appartient qu'à la Section ou même au Congrès de prendre une résolution définitive.

M. le Président appuie les observations de M. Mascart.

Sir William Thomson propose, au nom d'un certain nombre de ses collègues et au sien, de conserver les définitions actuelles de l'*Ohm* et du *Volt*, pour ne point changer les habitudes reçues. Ces expressions resteraient donc égales à 10^9 et 10^8 unités C. G. S.

M. Clausius (Allemagne) dit qu'à son grand regret il n'a pu assister à la réunion où ont été arrêtées les propositions que présente Sir William Thomson. Il n'est donc pas au courant de la question, et il demande que l'on donne lecture de l'ensemble des propositions arrêtées dans cette réunion.

M. Mascart lit le texte de six propositions préparées, dans une réunion préliminaire, par Sir William Thomson et un certain nombre d'autres membres de la Commission, qui complètent les quatre autres présentées la veille par MM. Spottiswoode, Moulton et sir William Thomson.

(Voir le texte des six propositions, Annexe n° III, page 238.)

M. Moulton demande que le texte des six propositions soit imprimé et distribué.

M. le professeur Govi dépose une proposition supplémentaire.

(Voir le texte, Annexe n° IV, page 239.)

M. le professeur Wiedemann (Allemagne) dépose une proposition supplémentaire.

(Voir le texte, Annexe n° V, page 239.)

M. le professeur Clausius dit qu'il n'est point parlé, dans le texte lu par M. Mascart, de la confection des étalons. Il désirerait savoir si l'on a accepté ou non les étalons de mercure.

Sir William Thomson propose, en réponse à la question de M. Clausius, que l'étalon de définition soit fait d'après la méthode de M. Siemens, et consiste en une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et

de longueur déterminée. Il demande seulement que cette longueur soit définie simplement, et cela, sans attendre les résultats des déterminations, qui demanderont un temps considérable. Comme on ne peut rien dire de certain relativement aux étalons B A, le mieux est de donner une définition géométrique de l'étalon.

M. Clausius demande quel sera l'étalon légal : l'étalon Siemens ou l'étalon de l'Association britannique.

M. Mascart dit que, dans la réunion préliminaire, on paraissait d'accord sur les points suivants : l'unité légale de résistance doit être aussi voisine que possible de l'unité théorique, mais elle doit être définie d'une façon expérimentale. En employant une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 104 centimètres de longueur, on s'écartera de l'unité absolue de moins de 0,01, ce qui satisfait à la première condition; et on aurait une définition qui permettrait, dans la pratique, de faire facilement des vérifications expérimentales, ce qui est la seconde condition.

Sir William Thomson ajoute qu'il serait expressément spécifié que cette colonne de mercure est un étalon, mais non pas un ohm ; on pourrait même, pour bien accentuer cette distinction, donner un nom à l'étalon, celui d'étalon mercuriel, par exemple.

M. Clausius répond que si l'on avait adopté pour cet étalon mercuriel une colonne de 1 mètre de longueur, il aurait pu se dispenser de déposer un contre-projet ; mais que, dans l'état de la question, il soumet à la Commission une série de propositions, dont il est donné lecture.

(Voir le texte des propositions de M. Clausius, Annexe n° VI, page 239.)

Sir William Thomson dit que le système électro-statique que préfère M. Clausius présente de grandes difficultés d'application. De plus, on ne connaît pas bien exactement le facteur qui permet de passer de ce système au système électro-magnétique, et comme, en fait, ce dernier est de beaucoup le plus important pour les mesures pratiques, il est préférable de prendre, pour les unités, des définitions en rapport avec les usages habituels de ces unités.

M. le professeur Förster pense que la question soulevée par M. Clausius rend plus que jamais nécessaire un examen approfondi : il est indispensable que les propositions soient imprimées et distribuées avant que la Commission puisse procéder à une discussion définitive.

M. le professeur Helmholtz : Dans la réunion préliminaire, on a été généralement d'avis que, la permanence électrique des métaux solides étant fort douteuse, il était nécessaire de revenir au mercure pour la défi-

nition de l'étalon. Mais le mercure doit être observé dans le verre, ce qui constitue un appareil bien fragile et, par suite, bien peu durable. De plus, il n'est pas sûr que le verre ne subisse pas à la longue certaines déformations qui en altèrent les dimensions. Un étalon proprement dit, en mercure, n'est donc pas chose bien désirable, et c'est seulement pour la définition de cet étalon qu'il y a lieu de faire intervenir le mercure. Les résistances étalonnées seront faites en tel fil que l'on voudra, et donneront une approximation de 1 centième ou de 1 millième sur l'unité absolue ; quand on voudra les vérifier, les tarer, on recourra à la définition de l'étalon à mercure, lequel est susceptible d'être réalisé à une approximation plus grande. Ainsi les procédés actuellement employés par M. Siemens permettent déjà d'atteindre le dix-millième, et, selon toute probabilité, on pourra aller encore plus loin dans une grande installation faite par un établissement public. En fait, l'étalon légal ne sera pas tel ou tel étalon matériel construit, mais ce sera une colonne de mercure définie géométriquement.

Ce système aura l'avantage que l'unité Siemens (actuellement si répandue en Allemagne et dans d'autres pays) et l'unité anglaise, étant l'une et l'autre définies en mercure, il sera facile de passer de l'une à l'autre au moyen d'un simple coefficient.

Mais il y a un point sur lequel il désire appeler l'attention : pour lever les doutes et les ambiguïtés auxquels donne lieu l'emploi du mot *Weber*, qui est employé en Allemagne et en Angleterre dans des sens différents et auquel on donne jusqu'à quatre significations, on a voulu créer une nouvelle unité d'intensité ou de courant, l'ampère. Et, pour faire concorder cette nouvelle unité avec l'unité C. G. S. d'intensité, on a proposé de lui attribuer une valeur dix fois plus grande que celle de l'unité d'intensité actuellement employée en Angleterre. M. le professeur Helmholtz préférerait conserver la symétrie ; ni le volt ni l'ohm ne sont des unités C. G. S. ; ces unités pratiques ne sont pas destinées aux savants, mais aux hommes de métier, et c'est pourquoi il préférerait l'ancienne définition plus simple ; il aimerait mieux que l'ampère fût le courant produit par une force électromotrice d'un volt agissant sur une résistance d'un ohm.

M. le professeur Wiedemann. Le choix entre le système électro-statique et le système électro-magnétique n'a d'importance que pour les praticiens ; quel que soit celui des deux que l'on adopte, les savants ne se serviront jamais que de celui qui convient aux recherches dont ils s'occupent, et ils n'auront pas de peine à faire les corrections de calcul nécessaires pour passer de certaines unités à d'autres. C'est donc pour les praticiens seuls que la question est importante. A ce point de vue, il vaut

mieux ne pas émettre provisoirement une nouvelle unité, voisine du nouvel ohm à déterminer, mais différant de ce nouvel ohm, de l'ancien, et de l'unité Siemens. Il vaut mieux laisser les choses en l'état, jusqu'à ce que l'on ait construit et distribué les nouveaux étalons absolus. C'est pour cela qu'il faudrait constituer un Comité international chargé de cette importante opération, chargé aussi de faire auprès des divers Gouvernements les démarches nécessaires pour l'introduction des réformes dans les étalons de mesure. Mais il faut bien se garder d'un changement qui devrait être suivi d'un autre changement. L'expérience que l'on a faite, lors de modifications dans les systèmes monétaires, montre qu'autant il est facile de faire accepter une nouveauté radicalement différente de tout ce qui a précédé, autant il est malaisé d'introduire une chose presque semblable à ce qui existait antérieurement, et de la faire entrer dans l'usage commun et exclusif. En conséquence, M. le professeur Wiedemann propose d'ajourner tout changement dans les étalons actuellement en usage jusqu'au moment où le nouvel ohm aura été déterminé et réalisé matériellement.

M. Mascart fait remarquer que Sir William Thomson a déjà dit et répété que la colonne de mercure proposée sera présentée, non pas comme une approximation plus ou moins exacte de l'ohm théorique, mais comme un étalon mercuriel déterminé nettement par ses éléments géométriques. Si l'on voulait attendre la détermination de l'ohm théorique, il se passerait peut-être dix ans; au lieu que, en employant ce système, on a un étalon plus voisin de la vérité que l'étalon actuellement en usage : de cet étalon, le Congrès ne donnera qu'une définition, et ce sera affaire aux Gouvernements des divers pays d'aviser aux moyens de réaliser matériellement les étalons, conformes à cette définition, dont ils pourront avoir besoin.

M. le professeur Wiedemann observe qu'il y a dans le commerce un grand nombre d'ohms, et qu'il sera difficile de les faire remplacer.

M. Mascart répond que ces copies présentent en effet des différences notables bien supérieures à celles qui existent entre les étalons B. A. conservés à Cambridge.

M. le Président fait remarquer que la marche proposée est tout à fait analogue à celle qui a été suivie à l'époque de l'introduction du système métrique. Un mètre provisoire fut d'abord émis et mis en usage pendant dix ans; ce n'est qu'au bout de ce temps que, les calculs géodésiques étant terminés, on a donné le mètre définitif, peu différent du premier.

M. Moulton pense que si l'on propose aux constructeurs de remplacer leurs étalons actuels, inexacts, par un autre étalon qui ne sera lui-même en aucune relation exacte avec un système scientifique défini, et

qui, par suite, ne présentera aucun avantage théorique, on ne sera pas écouté; et c'est ce qui aura lieu si l'on prend une colonne de mercure, si bien déterminée qu'elle soit, qui ne soit pas l'ohm.

M. Helmholtz dit que ce nouvel étalon aura l'avantage très sérieux de la constance.

M. Moulton répond que cet avantage se retrouve dans l'unité *Siemens*, et qu'il n'y a aucun intérêt à employer l'un plutôt que l'autre.

M. Mascart fait observer que, sur le système actuel, il y a une erreur de plus de 1/20 et que, dans le système proposé, l'erreur sera de moins de 1/100 sur l'unité absolue théorique.

M. Govi objecte que l'on n'a de données précises sur aucune des deux erreurs, et que l'incertitude reste la même dans les deux cas.

M. Mascart répond qu'il n'y aura point d'erreur sur l'étalon mercuriel, parce que le mercure ne sert que pour sa définition, et que l'on n'a pas à se préoccuper de la manière dont les copies pourront en être faites.

M. le Président annonce que les diverses propositions déposées dans le cours de la séance seront imprimées et distribuées. Il consulte la Commission pour savoir si elle veut se réunir mardi.

M. le professeur Govi fait remarquer que la Commission n'est pas tenue de déposer son rapport à la séance plénière que le Congrès tiendra mardi.

M. le Président propose que la Commission se réunisse lundi 19 septembre, à dix heures du matin.

La proposition est adoptée.

La séance est levée à quatre heures et demie.

ANNEXE I

PROJET DE PRÉAMBULE OU DE DÉCLARATION,

DE M. EVERETT

Il ne faut pas séparer la question des unités électriques de celle des unités générales de la physique. Au contraire, nous regardons comme de première importance de réunir toutes ces unités dans un système aussi facile pour les calculs que possible.

A cet effet, nous ne connaissons aucun système aussi net que le système

Centimètre-Gramme (masse)-Seconde (appelé par abréviation système C.G.S.). Il a déjà été adopté par l'Association britannique, et nous voulons le recommander à l'adoption du Congrès. Cela fait, on a, sans autre peine, un nom pour chaque unité absolue de quelque espèce que ce soit. Par exemple, l'unité C.G.S. de vitesse, l'unité C.G.S. d'accélération, les unités C.G.S. de la conductibilité thermique et électrique, et les unités C.G.S. d'électricité électro-statique et électro-magnétique, sont des grandeurs absolues qui se définissent par leurs noms mêmes.

ANNEXE II

NOTE DE M. NYSTRÖM

Il n'est guère personne, je pense, qui, s'étant occupé de l'enseignement de l'électricité dynamique, n'ait éprouvé une assez grande difficulté à expliquer d'une manière absolument satisfaisante ce que l'on comprend par le terme « l'intensité du courant ».

Lorsqu'il s'agit de la lumière, de la chaleur, du son, le terme « d'intensité » se rapporte à la tension ; aussi le regretté M. Littré, dans son célèbre *Dictionnaire de la langue française*, définit-il l'intensité par « le degré de tension ».

Dans le domaine même de l'électricité statique, on a déterminé le terme de *tension* de telle manière qu'il se rapporte seulement à l'*unité de la surface*, sans aucune considération de l'extension. Par conséquent, quand on dit que « l'intensité » du courant est partout la même dans un même circuit galvanique, le degré de tension devrait être partout le même dans ce circuit. Or, le degré de tension du courant étant le même pour l'unité de la surface, l'effet extérieur de ce même courant devrait être plus grand là où la surface est plus grande. Nous savons cependant que l'effet extérieur du courant est partout le même dans un circuit où sont intercalés des conducteurs de dimensions différentes.

Le terme « intensité » se rapportant, même dans la vie ordinaire, par exemple dans l'agriculture, à un état qualitatif, ne peut guère s'appliquer à la détermination quantitative, sinon combiné à l'idée de l'étendue. Cependant, quand il s'agit de l'électricité dynamique, le terme en question est employé pour la détermination quantitative ; mais en même temps on se sert ici du terme « tension » pour signifier le contraire de la quantité. Qu'on se rappelle les expressions : « Combiner les éléments d'une pile *en tension*, et combiner les éléments *en quantité*. »

Le terme « intensité », dans le domaine de l'électricité dynamique, donne donc lieu à une confusion des idées qui serait facilement évitée, si l'on donnait à la chose dont il s'agit son terme propre. Pour cette raison, on peut se servir très avantageusement, dans l'enseignement comme dans la pratique, du terme « quantité » au lieu du terme « intensité », ce dernier terme étant aussi inutile qu'impropre.

Lorsqu'il s'agit de matières ordinaires, par exemple de l'eau ou de l'air, mises en mouvement, on ne manque jamais d'avoir l'idée distincte de la chose

en question, en considérant la quantité relative à l'unité du temps, sans s'égarer dans des termes spéciaux. Il n'y aurait pas d'inconvénients ni d'erreurs à craindre, dans l'électricité particulièrement, si l'on voulait prendre en considération la quantité de la matière électrique tant en repos qu'en mise en mouvement. Dans ce dernier cas, il faut aussi considérer le temps, c'est vrai ; mais l'instrument même à l'aide duquel se fait une observation, indique ordinairement la quantité réduite à un temps constant. En employant, par exemple, la boussole, on mesure toujours la quantité réduite à un même temps.

Si quelqu'un proposait que l'on se servît, pour la mesure des matières ordinaires, de diverses espèces d'unités avec des dénominations différentes, selon que ces matières se trouvent en repos ou en mouvement, une telle proposition ne rencontrerait certes qu'une désapprobation générale. La tendance du travail scientifique devant être d'aller du compliqué au simple, d'idées vagues à des notions correctes, il me semble très nécessaire de réduire la terminologie électrique, en supprimant un terme faux et superflu dont la vraie notion est comprise dans un des termes restants. Et ce n'est pas tant seulement le terme même, mais aussi la mesure électrique qui se rapporte à ce terme, qui doit être enlevée.

Tout en proposant la détermination de l'électricité, tant statique que dynamique, par le moyen d'une mesure quantitative d'un seul et même genre, je ne proposerai cependant pas la même division de cette mesure pour les deux déterminations. Imitant ce qui se fait pour une matière ordinaire, où l'on se sert du décimètre cube pour la détermination de petits volumes, et du mètre cube quand il s'agit de déterminer de très grands volumes, de même j'inclinerais à proposer, par exemple, le *microfarad* pour la détermination de l'électricité statique, et du *millifarad* = 1,000 microfarads pour l'électricité dynamique.

Ainsi les mesures en question seraient réduites du nombre quatre au nombre trois, savoir : une *pour la résistance*, l'ohm ou le siemens ; une *pour la tension ou la force électromotrice*, le volt ; et une *pour la quantité*, le farad ou le weber, avec des divisions convenables.

Il n'est pas nécessaire de rendre évident qu'il n'est pas de formule électrique dans laquelle l'expression de l'intensité ne puisse pas être remplacée par l'expression de la quantité divisée par l'expression du temps.

ANNEXE III

PROPOSITIONS DE SIR WILLIAM THOMSON
ET DE MM. MOULTON ET SPOTTISWOODE
COMPLÉTÉES ET ADOPTÉES PAR LE COMITÉ OUVERT

1° On doit établir des étalons matériels pour les mesures électriques ;
2° Les unités seront basées sur le système métrique ;
3° Le système électro-magnétique est par lui-même d'une importance

capitale dans les mesures électriques, et les unités destinées à la pratique doivent être fondées sur les actions électro-magnétiques ;

4° Les étalons approchés, établis par les mesures faites par l'Association britannique sur les résistances absolues, doivent être soumis à de nouvelles expériences dont il résultera des étalons plus rapprochés de la définition théorique ;

5° Les expressions *Ohm* et *Volt* doivent conserver leurs définitions actuelles : 10^9 pour l'Ohm et 10^8 pour le Volt.

6° L'unité de courant (C.G.S.) recevra la dénomination *Ampère*.

ANNEXE IV

PROPOSITION DE M. GOVI

Quelles que soient les décisions du Congrès relativement aux mesures électriques, puisqu'il est convenu que ces mesures doivent avoir pour base le système métrique, il est utile que, dès à présent, il soit décidé que les *prototypes des mesures électriques, au fur et à mesure de leur confection par un Comité spécial, seront déposés et conservés au Bureau international des poids et mesures, où l'on installera également tous les instruments et les moyens nécessaires pour exécuter la comparaison exacte de ces étalons avec les copies que l'on voudra en déduire.*

ANNEXE V

PROPOSITION DE M. WIEDEMANN

Le Congrès des électriciens émet le vœu que le Gouvernement français se mette en rapport avec les autres puissances pour nommer un Comité exécutif, chargé des recherches nécessaires pour établir des unités.

ANNEXE VI

PROPOSITION DE M. CLAUSIUS

On adopte comme *unité d'électricité* la quantité d'électricité qui exerce sur une quantité égale à elle-même l'unité de force à l'unité de distance.

Il s'ensuit que l'unité de potentiel est immédiatement fixée et toutes les autres unités se déterminent très-facilement.

L'*unité d'intensité* d'un courant est l'intensité correspondant au passage de l'unité d'électricité dans l'unité de section pendant l'unité de temps.

L'*unité de force électromotrice* est la force électromotrice qui s'exprime par une différence potentielle de la grandeur *un*.

L'*unité de résistance* est la résistance d'un conducteur dans lequel l'unité de force électromotrice produit un courant d'intensité *un*.

Jusqu'à une détermination suffisamment précise des mesures absolues, la résistance d'une colonne de mercure d'un millimètre carré de section formera la base des mesures de résistance.

TROISIÈME SÉANCE

19 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à onze heures et demie du matin.

M. MASCART (France) donne lecture des quatre propositions suivantes, qui ont reçu l'assentiment d'un certain nombre de membres de la Commission.

1° On adoptera pour les mesures électriques les unités fondamentales : centimètre, masse du gramme, seconde (C. G. S.) ;

2° Les unités pratiques, l'*Ohm* et le *Volt*, conserveront leurs définitions actuelles : 10^9 pour l'Ohm et 10^8 pour le Volt ;

3° L'unité de résistance (*Ohm*) sera représentée par une colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade.

4° Une Commission internationale sera chargée de déterminer, définitivement pour la pratique, par de nouvelles expériences, la longueur d'une colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade, qui représentera la valeur de l'ohm.

M. CLAUSIUS (Allemagne) déclare qu'en présence de ce projet, sur lequel l'entente paraît établie, il croit devoir retirer ses propositions tendant à faire adopter un système de mesures électro-statiques.

M. Werner SIEMENS (Allemagne) demande que, dans le texte lu par M. Mascart, quatrième alinéa, les mots « définitivement pour la pratique » soient supprimés. Il dit que les méthodes de mesure se perfectionnant, on arrivera plus tard à des déterminations plus exactes que celles que l'on peut faire aujourd'hui.

M. LIPPMANN (France) présente une proposition additionnelle, tendant à la création, sous le nom de *Gauss*, d'une unité de travail égale à 10^8 *Ergs*. Il dit que l'erg n'est pas une mesure qu'on puisse employer

dans la pratique, puisqu'elle est environ 100 millions de fois plus petite que le kilogrammètre. Comme, d'autre part, le volt se rencontre directement dans les calculs, l'emploi de l'erg introduit un coefficient que l'on ferait disparaître par l'adoption du gauss.

M. Mascart répond que cette proposition sort de l'ordre d'idées où la discussion se tient renfermée pour l'instant, et qu'elle viendra mieux plus tard.

Sir William Thomson (Grande-Bretagne) rappelle que les mécaniciens emploient pour leurs calculs le cheval-vapeur, et que c'est là une unité bien différente de celles dont on s'occupe actuellement; on n'a donc pas à s'inquiéter de cette question pour le moment.

Pour ce qui est de la proposition précédente, il espère que M. Siemens la retirera : en effet, ce qui est nécessaire avant tout, c'est d'arriver à un résultat; il faut que, quand on dit un ohm, on désigne quelque chose de fixe; il faut que l'ohm soit bien déterminé. Le but que l'on s'est proposé d'atteindre par la réunion du Congrès et par la série d'expériences qui suivront, a été d'établir pour l'électricité un système métrique analogue à celui qui a été créé pour les mesures de matière pondérable par la Commission française au commencement de ce siècle, et c'est là un but grand et élevé. Ce serait une chose fort triste que le Congrès laissât son œuvre incomplète, et c'est ce qui arriverait si l'on ne faisait point quelque chose de définitif. En conséquence, Sir William Thomson appuie les propositions de M. Mascart dans leur rédaction primitive.

M. Govi (Italie) dit qu'il est tout disposé à se rallier à ces propositions, mais qu'il maintient la motion qu'il a faite à la Commission.

M. Wiedemann (Allemagne) répond que lui aussi maintient sa proposition, mais que l'objet en est d'une nature toute autre que celle des propositions de M. Mascart, et que par suite, et sans aucun doute, l'adoption de ces dernières propositions laisse subsister dans leur intégralité celles qui ont été déposées par M. Govi et par lui-même.

M. le Président dit que, si la Commission les adopte, les quatre propositions pourront être soumises à la Section et au Congrès dans les séances du lendemain : ce sont des points d'une importance capitale, que d'autres propositions pourront ensuite compléter sans leur porter atteinte. Ce sera le principal ouvrage et le plus important résultat du Congrès.

M. Maurice Lévy (France) rappelle que le sous-comité avait exprimé l'intention de donner le nom d'*Ampère* à l'unité d'intensité.

M. le Président répond que cette question n'est point engagée pour l'instant et qu'elle viendra plus tard en discussion.

M. Mascart dit qu'il avait à déposer, au nom de ses collègues français et au sien, différentes questions qui eussent pu, sans doute, donner lieu à des discussions intéressantes; mais que, pour ne pas ralentir les travaux de la Commission, il s'abstiendra de les présenter.

M. Werner Siemens dit qu'il maintient sa demande tendant à la suppression des quatre mots « définitivement pour la pratique » dans le texte de la quatrième proposition de M. Mascart.

M. Moulton (Grande-Bretagne) s'est entretenu avec M. Siemens de cette proposition, et il croit devoir en préciser le sens. M. Siemens veut que l'ohm soit toujours accessible à la détermination, qu'il n'ait point de valeur fixe : il s'agit donc de savoir si l'on veut quelque chose de défini ou quelque chose d'éternellement variable et incertain. Dans une question ainsi posée, il n'y a pas de terme moyen; il faut que la Commission décide par un vote sur la suppression ou le maintien de ces quatre mots. Pour lui, il croit qu'il y a bien plus d'avantages à fixer l'ohm qu'à le laisser variable, et il croit qu'une unité susceptible de changements incessants rencontrerait partout une opposition qui lui serait fatale. Au reste, toutes les personnes présentes ont leur opinion faite depuis longtemps, et la discussion est superflue. C'est au vote qu'il faut venir, c'est le choix qu'il faut arrêter sur cette question fondamentale.

M. Warren de la Rue (Grande-Bretagne) déclare qu'il ne voit pas là matière à discussion; il croit que tous les membres de la Commission sont d'accord sur le fond de la proposition et que le mot « définitivement » n'est pas d'une importance extrême. Mais ce n'est qu'un mot en jeu.

M. Moulton. Non, c'est une chose. Ou bien, dit-il, l'on aura un étalon définitif, ou bien, à chaque détermination faite par des hommes présentant quelques garanties, il faudra changer d'unité. M. Moulton ne le veut pas, et espère que la Commission sera de son avis; car tout ne sera que confusion, si le Congrès ne maintient, avec les quatre mots en question, le principe de la permanence de l'étalon.

M. Wiedemann dit que l'on ne peut interdire à l'avenir de faire de nouvelles déterminations, et que c'est là ce qu'a en vue M. Siemens.

M. Warren de la Rue lit une nouvelle rédaction proposée par M. Siemens.

M. Moulton ajoute que la Commission doit absolument se prononcer sur ce principe de la permanence de l'étalon, lequel est fondamental. Si le Congrès ne décide pas cette question, il n'aura rien fait; il faut qu'il choisisse entre l'unité fixe et l'unité variable, mais la question ne peut rester indécise.

M. Werner Siemens remercie M. Moulton, qui a très bien exposé et fait comprendre la portée de sa demande; si, comme il paraît probable, l'opinion de la Commission lui est contraire, il s'inclinera; mais il a tenu à obtenir une décision catégorique du Congrès. En effet, il ne s'agit plus maintenant d'une unité absolue et scientifique, mais d'une unité empirique, et il a voulu obtenir un vote sur ce point.

M. Mascart : Par cela même que l'on prévoit la formation d'une Commission internationale, on suppose que les travaux de cette Commission aboutiront à un résultat. Or ce résultat serait indéfiniment écarté, s'il devait être l'ohm absolu, théorique. Ce qu'on aura, c'est un étalon fixe qui ne répondra pas plus à la théorie que le kilogramme des Archives, par exemple, que l'on sait bien n'être pas exact, mais qui servira pour la pratique et dont la valeur, relativement à l'unité théorique, pourra être déterminée aussi souvent qu'on le voudra.

M. le Président donne lecture de la rédaction suivante de la quatrième résolution, où les mots « pour la pratique » sont maintenus et le mot « définitivement » est seul supprimé.

Une Commission internationale sera chargée de déterminer, par de nouvelles expériences, pour la pratique, la longueur de la colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade, qui représentera la valeur de l'ohm.

M. Helmholtz (Allemagne) fait remarquer que l'on introduit le système C. G. S. pour une seule des unités électriques, l'unité d'intensité, et non pour les autres. Il en résulte que l'on arrive, dans le système que l'on a en vue, à écrire que l'unité de force électromotrice, agissant dans l'unité de résistance, donne dix unités de courant. Il serait préférable de conserver les unités B. A., avec lesquelles l'équation se présente sous une forme plus rationnelle : l'unité de force électromotrice, agissant dans l'unité de résistance, donne l'unité de courant. On est accoutumé déjà, en Angleterre, à ces unités liées par une relation si simple, et M. le professeur Helmholtz s'étonne qu'on veuille les changer.

M. Mascart dit qu'il n'est pas question de les changer.

M. Helmholtz répond que les unités B. A sont plus rationnellement déduites, et que l'on risque à introduire de la confusion, surtout pour les praticiens.

Sir William Thomson explique que l'Association britannique n'a jamais reconnu d'autre système d'unités que le système C. G. S., qu'il n'est point question de changer. On veut faire disparaître le weber qui est

une source de confusion; mais jamais l'Association britannique n'a adopté ni ohm, ni volt, ni rien de pareil. Ces noms ont été introduits pour la seule commodité, parce qu'il est impossible, par exemple, de définir pratiquement une bobine dans le système C. G. S. Que les physiciens aient trouvé ces noms plus commodes, qu'on les conserve ou qu'on les change en tout ou en partie, c'est chose secondaire. On a proposé de substituer l'ampère au weber avec un autre sens : cela ne touche en rien ni le système C. G. S. ni la définition de l'étalon, les seules choses en question pour l'instant.

M. le Président propose d'accepter les quatre propositions lues par M. Mascart, et d'en donner lecture à la Section dans la séance du lendemain. La discussion sera encore ouverte, et devant la Section et devant le Congrès, qui pourra seul prendre une décision; il pense que la question est assez mûre pour qu'une discussion publique puisse être faite utilement. Si la Section ne se trouve pas satisfaite, si elle rencontre des difficultés, la question sera renvoyée à la Commission pour une nouvelle étude. En conséquence, il propose d'adopter les propositions, et de décider qu'elles seront présentées à la Section.

Les propositions sont adoptées, et il est décidé qu'elles seront lues le lendemain à la séance de la première Section.

La séance est levée à midi et demi.

QUATRIÈME SÉANCE

21 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à onze heures.

M. LE PRÉSIDENT dit que l'objet de la réunion est de prendre connaissance de propositions complémentaires présentées par Sir William Thomson et M. le professeur Helmholtz.

M. MASCART (France) donne lecture de ces propositions, en ajoutant que, ayant pris part à la discussion dans laquelle elles ont été arrêtées en principe, il a été chargé de les traduire et qu'il est par suite seul responsable des défauts de rédaction.

On appelle *ampère* le courant produit par un volt dans un ohm;

On appelle *coulomb* l'unité pratique d'électricité définie par la condition qu'un ampère donne un coulomb par seconde;

On appelle *farad* la capacité définie par la condition qu'un coulomb dans un farad donne un volt.

Sir William THOMSON (Grande-Bretagne) dit qu'il n'est pas nécessaire de faire de longs commentaires sur ces propositions; il se borne donc à en proposer l'adoption, sauf à demander la parole si des objections étaient soulevées.

M. MOULTON (Grande-Bretagne) demande si l'expression « unité pratique d'électricité » est bien le terme propre, et s'il ne vaudrait pas mieux dire : « unité de quantité d'électricité ».

MM. MASCART et RAYNAUD proposent la rédaction « unité pratique de quantité ».

Sir William THOMSON et M. MOULTON demandent la suppression du mot *pratique*.

Cette proposition ayant été généralement approuvée, M. MASCART relit une rédaction modifiée dans ce sens.

Sous cette forme nouvelle, les propositions sont adoptées. (Voir Annexe I, page 249.)

M. LE PRÉSIDENT dit que bien des savants ont aussi demandé que l'on fixât une définition qui intéresse au plus haut point la chimie : celle de la quantité d'électricité nécessaire pour décomposer 9 grammes d'eau, par exemple.

Sir William THOMSON répond que, pour donner satisfaction à cette demande, il suffit de connaître exactement la quantité d'hydrogène, par exemple, qui est mise en liberté par le passage d'une quantité d'électricité égale à un coulomb; mais il ne lui paraît pas nécessaire d'introduire un mot nouveau dans la science.

M. le professeur WIEDEMANN (Allemagne) dit que l'on a déjà, pour répondre au désir exprimé par M. le Président, le terme d'équivalent chimique dont le sens est bien précis. Il ne faut pas multiplier sans nécessité les diverses unités, surtout si on leur impose des noms d'hommes.

D'autre part, le terme d'*ohmad* serait peut-être préférable à celui d'*ohm* pour éviter la possibilité de toute confusion avec la mesure de capacité des liquides appelée aussi *ohm* en Allemagne.

M. MOULTON propose que la Commission borne là ses travaux. Le résultat le plus utile a été obtenu avec le minimum d'inconvénients : l'œuvre perdrait en utilité si on l'étendait. On a fixé à l'unanimité ce qui était nécessaire. On peut en rester là. M. Moulton demande qu'un rapport soit rédigé.

M. LIPPMANN (France) retire sa proposition, mais demande que la Commission continue ses travaux. On s'est occupé d'étalons et de notations; reste la question des expériences et de leur précision. Il serait fâcheux qu'on ne profitât pas de l'occasion pour examiner les valeurs relatives des méthodes.

M. LE PRÉSIDENT répond que si le Congrès approuve les conclusions de la Commission, il sera pourvu à l'exécution. Si cette approbation fait défaut, les mesures qu'on prendrait maintenant seraient inutiles. Il faut d'abord assurer le résultat. Il sera temps alors d'examiner les propositions de MM. Wiedemann et Govi et la proposition relative aux étalons; c'est là affaire d'exécution. Il croit donc que le rôle de la Commission est terminé pour le présent, et qu'on peut s'en tenir aux résultats acquis.

M. HELMHOLTZ (Allemagne) demande que l'on fasse une rédaction d'ensemble.

M. MASCART répond que les quatre premières propositions ont déjà été votées par la première Section; il suffira d'y adjoindre les trois propo-

sitions nouvelles pour constituer l'ensemble des travaux de la Commission.

M. Govi (Italie) ajoute que c'est à la Commission nommée par les Gouvernements à examiner les moyens d'exécution, et que les bases établies aujourd'hui suffiront pour en préciser le programme.

M. Mascart dit que la proposition de M. Wiedemann est maintenue.

M. Wiedemann fait remarquer que sa proposition est la conséquence naturelle de l'adoption des propositions précédentes.

M. Moulton pense que le Congrès pourrait nommer la Commission internationale, car il est difficile d'arriver à un résultat en passant par l'intermédiaire des Gouvernements; il ajoute que cette Commission ne peut être choisie avant le vote définitif des propositions de la Commission.

M. Förster (Allemagne) déclare que la Commission ne peut être nommée par le Congrès; qu'elle doit l'être par les Gouvernements, qui seuls peuvent accorder les pouvoirs et l'argent nécessaires.

M. Raynaud (France) fait remarquer que l'on va se trouver dans une situation provisoire jusqu'au moment où seront livrés les étalons nouveaux, et qu'il serait peut-être bon de prendre un étalon provisoire, en attendant cette époque.

MM. Moulton et Govi repoussent l'idée d'un étalon provisoire.

M. Govi se rallie à l'opinion de M. Förster.

M. le Président met aux voix la proposition de M. Wiedemann, qui est adoptée. La Commission décide en outre de proposer, conformément à l'avis de M. Förster, que la Commission internationale soit nommée par les Gouvernements. M. le Président croit que l'on peut présenter directement l'ensemble des travaux au Congrès, sauf à s'excuser auprès de la Section. Il considère que le mandat de la Commission est rempli.

M. Warren de la Rue (Grande-Bretagne) constate que bien des questions difficiles ont été résolues par la Commission des Unités électriques, et que ce résultat est dû à l'impartialité et à l'esprit de justice et de bienveillance de son président, M. Dumas. Il propose donc à la Commission de lui en adresser tous ses remerciements.

M. le Président est très touché des sentiments qui viennent d'être exprimés, mais il déclare que l'honneur des travaux importants auxquels a abouti la Commission doit être reporté aux hommes éminents qui en faisaient partie, et qui ont apporté une grande largeur d'idées aussi bien qu'un unanime désir de conciliation.

La séance est levée à midi.

ANNEXE I

1° On adoptera pour les mesures électriques les unités fondamentales : centimètre, masse du gramme, seconde (C. G. S.) ;

2° Les unités pratiques, l'*Ohm* et le *Volt*, conserveront leurs définitions actuelles : 10^9 pour l'Ohm et 10^8 pour le Volt ;

3° L'unité de résistance (*Ohm*) sera représentée par une colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade ;

4° Une Commission internationale sera chargée de déterminer, par de nouvelles expériences, pour la pratique, la longueur de la colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de zéro degré centigrade, qui représentera la valeur de l'Ohm ;

5° On appelle *Ampère* le courant produit par un Volt dans un Ohm ;

6° On appelle *Coulomb* la quantité d'électricité définie par la condition qu'un Ampère donne un Coulomb par seconde ;

7° On appelle *Farad* la capacité définie par la condition qu'un Coulomb dans un Farad donne un Volt.

COMMISSION DE L'ÉLECTRO-PHYSIOLOGIE

PREMIÈRE SÉANCE

22 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. DU BOIS-REYMOND

La séance est ouverte à deux heures trente-cinq minutes.

M. du Bois-Reymond (Allemagne), *président*, donne lecture du passage du projet de programme concernant l'électro-physiologie, et fait remarquer que, s'il s'est d'abord prononcé contre l'opportunité du débat, c'est qu'il ne croyait pas que par *opérations médicales* il fallût entendre les expériences d'électro-physiologie proprement dites. Mieux renseigné par les observations de M. Marey et de M. d'Arsonval, il n'a garde de méconnaître l'actualité de la question.

M. Marey (France) propose de scinder la question et d'étudier séparément les courants de pile et les courants induits. Comment, pour les courants induits, pourrait-on éviter les irrégularités provenant du trembleur? Le marteau de Pflüger est bon, mais ne se prête pas aux actes répétés.

M. d'Arsonval (France). L'interrupteur de M. Marcel Deprez pourrait résoudre la question en l'appliquant à l'appareil à traîneau de M. du Bois-Reymond. Cet interrupteur est un véritable régulateur de courant, qui rompt le circuit au moment de la cessation de l'état variable et qui donne par conséquent des courants de rupture toujours identiques.

M. Helmholtz (Allemagne) fait remarquer que l'étincelle d'extracourant qui suit la rupture se comporte comme un conducteur de résistance variable. Il décrit le dispositif, bien connu des physiologistes, dont il a doté l'appareil à traîneau. Ce procédé consiste à supprimer l'étincelle en intercalant une dérivation. On arrive ainsi à égaliser les deux courants

induits d'ouverture et de fermeture. On affaiblit beaucoup, il est vrai, le courant de rupture, mais on a l'avantage d'avoir des courants induits très réguliers.

M. D'ARSONVAL. En un mot, la dérivation variable de l'étincelle est remplacée par une dérivation métallique fixe, au moyen de l'artifice employé par M. Helmholtz.

M. LE PRÉSIDENT donne la courbe des intensités des deux courants avant et après l'introduction du dispositif de M. Helmholtz. Avec ce dernier on peut produire un tétanos sous-maximal très régulier.

M. le Président demande à M. d'Arsonval si l'interrupteur Deprez donne les mêmes effets.

M. D'ARSONVAL a indiqué ce moyen seulement à titre de renseignement et se propose de l'essayer.

M. LE PRÉSIDENT se sert dans ses expériences de l'appareil à traîneau, et, lorsqu'il veut une grande régularité, il lui ajoute le dispositif de M. Helmholtz.

M. D'ARSONVAL, pour avoir un courant inducteur toujours identique, a remplacé le courant de la pile par la décharge d'un condensateur. Cette décharge, lancée dans le fil inducteur, provoque dans le circuit induit deux courants instantanés de quantité égale, mais de sens inverse. Pour une même charge du condensateur et une même distance du circuit induit, on obtient des excitations absolument semblables. De plus, cette méthode paraît amener la fatigue du nerf beaucoup plus lentement que la décharge directe du condensateur. M. d'Arsonval met sous les yeux des membres de la Commission des graphiques de contraction musculaire obtenus au laboratoire de M. Marey par M. Mendelssohn, suivant son procédé, ne laissant aucun doute à cet égard.

M. LE PRÉSIDENT montre l'appareil à traîneau muni du dispositif de M. Helmholtz.

M. JOUBERT (France) demande si l'on ne pourrait pas atteindre cette régularité désirée en se servant d'une machine à courants alternatifs, telle que celle de M. Siemens. Ces courants sont sinusoïdaux et ont une régularité très remarquable. Il serait d'ailleurs facile d'en faire varier l'intensité et la fréquence.

M. D'ARSONVAL a employé un dispositif semblable en se servant comme générateur d'un moteur Deprez sans commutateur. Il s'en servait pour exciter un appareil à traîneau qui permettait de graduer l'intensité. On peut avoir une grande régularité en faisant tourner la bobine par un moteur isochrone Deprez ou autre. M. d'Arsonval n'a pas persisté dans ces essais

parce que, le champ magnétique variant, les résultats n'étaient pas comparables.

M. Joubert pense que cela tenait à la présence du fer dans la bobine : avec la machine Siemens sans fer, on n'aurait pas cet inconvénient.

M. d'Arsonval objecte qu'il faudrait toujours avoir quand même un champ magnétique constant, ce qui est la grosse difficulté.

M. Helmholtz. On peut faire l'inverse et faire tourner un aimant dans une bobine fixe. On a ainsi des courants très réguliers, dont l'intensité dépend de la vitesse de rotation. M. Helmholtz s'est servi de ce moyen pour l'étude de la polarisation. M. Kronecker a obtenu des excitations en faisant vibrer longitudinalement un barreau aimanté dans l'intérieur d'une bobine.

M. le Président. Le problème à résoudre est triple; il faut :

1° Avoir pour le courant une courbe d'intensité et de forme connue, si possible linéaire ou au moins sinusoïdale;

2° Pouvoir faire varier le paramètre de cette courbe, ou la tangente de la droite;

3° Pouvoir répéter fréquemment les excitations en conservant des courbes identiques, et faire à volonté alterner le sens des décharges.

M. Joubert pense que la méthode qu'il a proposée répond à ce triple desideratum.

M. le Président. On ne peut changer la fréquence sans changer l'intensité.

M. Joubert. On pourrait prendre une bobine plate se mouvant dans un champ magnétique constant.

M. Helmholtz. Ou inversement; mais la difficulté de mesurer l'intensité du champ magnétique persiste.

M. Lippmann (France). On pourrait se servir du champ magnétique terrestre à cet effet.

M. le Président. Il faudrait une bobine trop grande.

M. d'Arsonval, pour avoir un courant bien défini, revient au procédé de M. Marey : la décharge d'un condensateur.

M. Marey croit que le condensateur ne peut répondre aux corrections signalées par M. le Président et se rallierait à la proposition de M. Joubert.

M. d'Arsonval a fait avec le condensateur des expériences démontrant qu'à partir d'une certaine quantité d'électricité, la grandeur de l'excitation ne dépend plus que de la différence de potentiel.

M. le Président. Il faut aussi tenir compte de la section du nerf.

M. Joubert. La quantité d'électricité peut être constante, mais la

décharge très variable; le phénomène doit être très complexe. Ce qu'il y a probablement de moins important à mesurer, c'est la quantité d'électricité.

M. D'ARSONVAL dit que cela ressort des expériences qu'il vient de citer, mais qu'elles avaient un tout autre but.

M. HELMHOLTZ. Si le muscle est contracté jusqu'au maximum, on a facilement des résultats comparables; il n'en est plus de même si la contraction est sous-maximale.

M. MAREY. Même avant le maximum, l'irrégularité diminue.

M. D'ARSONVAL fait remarquer que les contractions dont il montre les graphiques sont sous-maximales.

M. LE PRÉSIDENT attire l'attention sur le Rhéonome de Fleischl, qui donnerait, d'après son auteur, une courbe d'intensité linéaire.

M. D'ARSONVAL rappelle que l'important, pour les physiologistes, est d'avoir une unité d'excitation même imparfaite.

M. LE PRÉSIDENT. Il faut prendre l'appareil à traîneau avec la modification de M. Helmholtz.

M. CHRISTIANI (Allemagne). Il faudrait adopter le type du laboratoire de M. du Bois-Reymond, qui a des dimensions bien déterminées.

M. Marcel DEPREZ (France) pense que c'est un procédé par trop empirique.

M. CHRISTIANI. Il cesse de l'être si l'on emploie la méthode de graduation absolue décrite par lui dans les *Annales de Poggendorff*.

M. MAREY. La difficulté, c'est que la période du trembleur n'est pas connue comme la rotation. Il faut se fier à l'oreille ou avoir recours à un chronographe.

M. HELMHOLTZ. On pourrait employer un appareil analogue à celui de Gaugain, dans lequel on ferait tourner un aimant; le courant est alors sinusoïdal. Le galvanomètre en donnerait l'intensité, et il servirait à exciter un appareil à traîneau. Quant au condensateur, on n'est jamais sûr d'avoir une véritable régularité.

M. D'ARSONVAL Il semble résulter de cette discussion que l'important est d'avoir des courants sinusoïdaux et des interrupteurs isochrones. On emploierait pour graduer les excitations l'appareil à traîneau.

M. LE PRÉSIDENT abandonne volontiers le trembleur de l'appareil à traîneau.

M. HELMHOLTZ propose de le remplacer par un diapason avec l'interruption mercurielle.

M. LE PRÉSIDENT. Le bain de mercure serait lavé par un courant d'alcool d'après le procédé de Kronecker.

M. Terquem (France) demande pourquoi ne pas employer une interruption sèche?

M. Helmholtz. Le moyen est trop irrégulier.

M. d'Arsonval, au lieu de laver le mercure, a employé le moyen suivant : deux fils de platine plongeant dans l'alcool sont placés, très près, vis-à-vis l'un de l'autre. On fait tomber dans leur intervalle le mercure goutte à goutte. Chaque goutte ferme le circuit et le mercure est toujours propre. Le mercure étant enfermé dans un vase de Mariotte, les gouttes se suivent à distance très régulière.

M. le Président. Le courant excitateur serait porté au nerf par des électrodes impolarisables terminées par des pointes d'argile imbibée d'une solution de chlorure de sodium à 0,6 pour 100 d'eau. Il faut rejeter tout contact du nerf avec un métal.

M. Marey demande à M. Helmholtz de décrire l'appareil qu'il a proposé, pour qu'il puisse l'expérimenter. Le courant sinusoïdal qu'il produit serait-il suffisant pour produire une excitation?

M. Helmholtz. Certainement.

M. Lippmann. Quelle intensité est suffisante?

M. Helmholtz. $\frac{1}{100}$ et même $\frac{1}{1000}$ de Daniell suffit pour produire la contraction maxima.

M. Lippmann. Alors l'induction terrestre suffirait.

M. Christiani. Le courant sinusoïdal pourrait être donné par des diapasons aimantés vibrant devant des bobines.

M. Marey. La troisième condition ne serait pas satisfaite.

M. Deprez. On peut prendre les diapasons à période variable de Kœnig. M. Deprez propose d'obtenir un courant sinusoïdal en prenant une dérivation sur un circuit. Un des fils de dérivation étant fixe, on promènerait de part et d'autre le second fil de dérivation.

M. Helmholtz. Les variations de contact entre les métaux suffisent pour provoquer un tétanos. L'appareil de Fleischl est analogue avec un contact mercuriel.

M. Rossetti (Italie) demande comment on peut déterminer l'intensité des courants continus employés en médecine, et désire qu'on puisse le faire.

M. Helmholtz dit qu'on peut commencer par de faibles courants dont on augmente l'intensité à l'aide du rhéostat à liquide.

M. d'Arsonval. Le vœu de M. Rossetti a reçu complète satisfaction dans la pratique de quelques médecins. Tous les appareils construits par M. Gaiffe notamment sont munis d'une boussole, graduée en unités d'inten-

sité, et d'un rhéostat, qui permettent de connaître, très exactement, les qualités du courant, pendant qu'il traverse le corps du malade, et d'opérer dans des conditions identiques. Il est à désirer que ce système se répande; il n'y a d'ailleurs aucune difficulté, puisqu'on emploie les unités C. G. S. adoptées par les électriciens.

M. le Président rappelle que pour diminuer la douleur et l'érythème au contact des électrodes, M. Hitzig s'est servi avec avantage d'électrodes impolarisables.

M. le Président propose d'établir comme bases les trois conditions que doit remplir une excitation physiologique, et qui ont été signalées ci-dessus. Pour graduer l'intensité on se servirait de l'appareil à traîneau, le trembleur serait remplacé par un diapason; ou bien on emploierait comme courant excitateur un courant sinusoïdal obtenu par la rotation d'un aimant dans une bobine, ou inversement.

M. Deprez pense qu'il y a de grandes difficultés à définir des quantités dépendant d'une bobine et d'un champ magnétique; il préférerait l'emploi de la dérivation.

M. Joubert. Ce dernier procédé n'offre pas d'assez grandes variations.

M. Deprez. On peut les accroître en prenant un fil résistant. Si l'on prend un champ magnétique, M. Deprez est de l'avis de M. Lippmann, on devrait prendre le champ magnétique terrestre.

M. Helmholtz. Dans le projet d'expérimentation de M. Deprez, les connexions seraient très difficiles à établir; quels que soient les contacts mobiles, on produirait un tétanos.

M. le Président dit qu'il y a longtemps qu'il a essayé de ce moyen, mais sans succès. Il suffit de frapper un rhéochorde pour provoquer un tétanos, bien que le contact se fasse avec du mercure. Entre le mercure d'une part, le platine ou le fer de l'autre, M. Werner Siemens a constaté une résistance au passage très grande et excessivement variable.

M. Helmholtz propose de faire mouvoir, dans une bobine fixe, un barreau aimanté dont on déterminerait le moment magnétique.

M. Deprez. Cette détermination serait gênante pour les physiologistes; mieux vaudrait faire tourner un barreau de fer doux dans le méridien magnétique, comme l'a proposé M. d'Arsonval.

M. Joubert. Les barreaux de fer doux ne sont pas identiques et ne donneraient que de bien faibles courants dans ces conditions.

M. Helmholtz propose de charger statiquement, par une pile, un disque métallique se mouvant parallèlement à un second disque fixe, situé à une distance déterminée du premier.

La quantité d'électricité serait ainsi rendue indépendante de la vitesse de rotation.

M. D'ARSONVAL. Mais pas la forme de la courbe. M. Helmholtz reviendrait donc au condensateur, qui serait rendu rotatif et qui, par ce moyen, pourrait donner des décharges de forme sinusoïdale.

M. LE PRÉSIDENT. Que désire la Commission ? Acceptera-t-elle les deux projets qui lui sont proposés ou seulement le dernier ?

La Commission s'arrête au dernier projet de M. Helmholtz. Quant aux courants continus employés en électro-thérapie, tous les membres sont d'accord avec M. d'Arsonval pour les évaluer en unités C. G. S. pendant l'application même.

La discussion de la seconde question du projet de programme est remise au lendemain à deux heures.

La séance est levée à quatre heures vingt minutes.

DEUXIÈME SÉANCE

23 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. DU BOIS-REYMOND

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures.

La parole est donnée à M. D'ARSONVAL pour la lecture du procès-verbal, qui est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a peu de confiance dans le dernier procédé proposé par M. Helmholtz, parce qu'il pense qu'il est bien difficile de conserver une charge statique, à cause de l'humidité variable de l'air.

M. MAREY (France) fait observer que cette charge statique est entretenue constante par une source dynamique qui pare pour ainsi dire aux fuites à chaque instant.

M. JOUBERT (France) croit que l'humidité influe quand même ; il préférerait l'aimant tournant de M. Helmholtz.

M. D'ARSONVAL (France) rappelle que l'on sait bien éviter cette cause d'erreur dans tous les électromètres, et qu'ici le cas n'est pas plus difficile.

M. MAREY prie M. Helmholtz de parfaire son instrument. Il demande s'il n'y aurait pas avantage à prendre un inducteur positif et un inducteur négatif, pour que le nerf reçût des décharges de sens contraire évitant la polarisation.

M. HELMHOLTZ (Allemagne) pense que cela est inutile, car le courant produit par un seul disque est oscillant.

M. MAREY explique que, pour ne pas changer la vitesse de rotation et varier néanmoins le nombre des excitations par seconde, on pourrait recueillir les courants de deux en deux, de trois en trois, etc., et que l'on pourrait également varier la quantité d'électricité par la forme des inducteurs.

M. Helmholtz rappelle que si les deux disques sont très rapprochés, la quantité est proportionnelle à la surface.

M. Marey demande s'il ne serait pas bon de proposer trois types d'appareils qu'on puisse reproduire aisément :

1° Le type d'appareil d'induction à traîneau de M. du Bois-Reymond, qui a déjà rendu de si grands services ;

2° L'appareil électro-magnétique ;

3° L'appareil électro-statique.

Il ajoute que l'on aurait ainsi de l'unité dans toutes les recherches. Il demande ensuite quelle forme M. Helmholtz propose pour ses appareils.

M. Helmholtz explique que, pour l'appareil électro-magnétique, le fil serait enroulé d'une certaine manière donnant un courant sinusoïdal. Quant à l'appareil électro-statique, M. Helmholtz n'y a pas encore pensé.

M. d'Arsonval propose pour l'appareil électro-statique la forme de secteurs cylindriques, qui sont faciles à construire et se prêtent très bien à un mouvement de rotation rapide.

M. Helmholtz partage l'opinion de M. d'Arsonval et croit, en effet, que la forme cylindrique serait la meilleure.

M. le Président pense que l'on pourrait passer à la discussion du second point du projet de programme, qui porte sur *les meilleurs moyens pour déterminer la nature des phénomènes électriques qui se produisent chez les animaux.*

M. Lippmann (France) dit que la question des électrodes, étant la plus importante, doit être traitée tout de suite. Il croit qu'il faut renoncer aux électrodes de platine, qu'on ne peut maintenir longtemps égales.

M. le Président dit qu'il y a nécessité absolue d'employer des électrodes impolarisables dans toutes les expériences d'électro-physiologie. Il décrit les diverses électrodes classiques dont il se sert et qui reposent sur l'emploi du zinc amalgamé plongeant dans une solution de sulfate de zinc. Le tissu organique est mis en communication avec l'électrode par l'intermédiaire d'une couche d'argile imprégnée de la solution physiologique de chlorure de sodium. Par ce moyen, on arrive à la plus grande homogénéité entre les deux électrodes, dont la différence de potentiel n'est tout au plus que de quelques dix millièmes de Daniell.

M. le Président ramène d'ailleurs l'égalité à l'aide du compensateur circulaire.

M. Marey demande si l'argile employée est du kaolin pur.

M. le Président répond que c'est l'argile plastique ordinaire des sculpteurs.

M. Marey pense que l'important est que la substance intermédiaire soit inerte.

M. le Président conclut que la question des électrodes est ainsi tranchée, et qu'il faut rejeter les électrodes métalliques. Il y a pourtant, ajoute-t-il, un cas où l'on peut les conserver, à cause des potentiels énormes qu'on a à observer : c'est le cas de la décharge des poissons électriques.

M. d'Arsonval dit que, puisqu'il y a accord sur les électrodes à employer, la Commission pourrait conseiller l'emploi de certains appareils de mesure.

M. le Président. On doit abandonner ce choix au tact expérimental de chaque observateur. Les instruments doivent varier avec la nature des phénomènes à observer. On pourra employer, suivant les cas, la grenouille galvanoscopique, la méthode chimique, le téléphone, la boussole apériodique ou l'électromètre capillaire de M. Lippmann. M. le Président reproche néanmoins à cet instrument d'amener une forte polarisation ; celle du mercure dans l'eau acidulée est à celle du platine comme $\frac{10}{13}$ à l'unité.

M. Lippmann. Cette polarisation constitue précisément le principe de l'appareil. C'est elle qui s'oppose au passage de tout courant d'un potentiel inférieur à celui du mercure et qui en fait un électromètre et non un galvanomètre.

M. Lippmann, interrogé sur la sensibilité de l'appareil, répond qu'il peut donner, quand il est bien construit, $\frac{1}{30\,000}$ de Daniell. Il n'est bon que pour les forces électromotrices inférieures au volt.

M. le Président dit que la différence de potentiel du muscle atteint parfois $\frac{1}{7}$ de Daniell et celle du nerf 0,025. L'électromètre de M. Lippmann sera signalé parmi les meilleurs, sans vouloir le substituer aux galvanomètres.

M. Christiani reproche à la forme ordinaire de l'électromètre Lippmann d'être difficile à se procurer, fragile, peu transportable. Il a essayé de le modifier et a construit un petit modèle facilement transportable ; dans ces appareils, dont un figure à l'Exposition, la longueur de la colonne mercurielle n'excède pas 100 millimètres, mais elle peut être réduite à 30 millimètres.

M. Lippmann signale la présence, dans la section suédoise, d'une modification analogue due à M. Loven. Au reste, on enfait depuis longtemps en France pour la physiologie. Néanmoins, dans les expériences délicates, M. Lippmann préfère une longue colonne de mercure. La rapidité des indications de l'instrument dépend beaucoup de la longueur totale de la

colonne et de la longueur de la pointe. L'accélération au départ est facile à calculer; M. Lippmann donne la formule suivante : $x = g\frac{H}{l}\alpha$. H est la hauteur totale de la colonne de mercure, l la longueur de la pointe, g l'accélération due à la pesanteur, et α, coefficient donné par la graduation, est égal à $\frac{1}{3}$ pour un élément Daniell. On voit donc que l'accélération au départ dépend de la hauteur de la colonne. Cette accélération peut être rendue aussi grande qu'on le désire, et l'inertie de l'instrument être réduite dans les mêmes proportions.

M. Christiani dit que certains physiciens doutent encore que la pression mesure la différence de potentiel.

M. Lippmann. Le travail auquel fait allusion M. Christiani repose sur une fausse interprétation.

M. Helmholtz est de l'avis de M. Lippmann, que le principe de l'électromètre n'est pas contestable.

M. le Président. Pour les indications rapides, l'électromètre capillaire est le meilleur instrument. Mais dans les cas où cette rapidité d'indication est inutile, M. le Président préfère les boussoles apériodiques qui donnent l'intégrale. L'électromètre ne permettrait pas d'observer la décharge des poissons électriques.

M. Marey dit qu'il a tourné la difficulté en n'envoyant dans l'électromètre qu'une dérivation de ce courant.

M. Marey trouve l'électromètre très précieux pour les phénomènes électriques variant rapidement, par exemple pour l'étude de l'oscillation négative. La courbe électrique se confond presque avec la courbe myographique, ce qui paraît démontrer que ces deux phénomènes sont intimement liés. Ne pourrait-on pas disposer les instruments de façon à superposer les deux courbes ?

M. Helmholtz. La variation négative précède la contraction musculaire.

M. le Président. Cette question est bien complexe, surtout avec le muscle gastro-cnémien de la grenouille.

M. d'Arsonval croit qu'il est difficile de formuler des méthodes pour observer l'oscillation négative des nerfs et des muscles, et qu'il faut s'en rapporter à l'adresse de l'expérimentateur; tel instrument bon pour l'un ne convenant pas à tous.

Il n'en est pas de même pour la décharge des poissons électriques, où l'énergie électrique est considérable ; M. d'Arsonval s'est servi dans ce cas d'un galvanomètre Marcel Deprez, à indications très rapides, qui inscrit directement sur un cylindre enfumé l'énergie et les phases de la décharge.

Il est à désirer que l'emploi de cet instrument précieux se généralise pour ces études.

Quant à la mesure des courants plus faibles, M. d'Arsonval, en collaboration avec M. Deprez, a donné une boussole apériodique qui peut rendre de grands services en physiologie. Dans cet instrument, c'est le courant lui-même qui est mobile dans un champ magnétique puissant. On évite ainsi l'influence des masses magnétiques avoisinantes, l'astaticité est aussi grande qu'on le désire, et par suite la sensibilité. Ces appareils se trouvent à l'Exposition et sont à la disposition de la Commission.

M. le Président résume, ainsi qu'il suit, les différentes propositions faites dans le sein de la Commission concernant le second point du programme :

1° Emploi des électrodes impolarisables dans tous les cas, excepté pour la décharge des poissons électriques ;

2° Pour l'étude des variations rapides : la grenouille galvanoscopique, le téléphone, l'électromètre Lippmann, le galvanomètre Deprez, le galvanomètre Thomson.

3° Pour l'étude des variations lentes, les boussoles apériodiques de du Bois-Reymond, de Deprez et d'Arsonval et tous les appareils analogues.

Les diverses conclusions de la Commission seront rédigées par M. le Président et présentées au Congrès en séance plénière.

M. d'Arsonval demande que l'on se rallie à sa proposition pour faire adopter en électro-thérapie des appareils gradués en unités C. G. S. dans l'application des courants continus.

M. Rossetti (Italie) est du même avis.

M. de Ziemssen (Allemagne) dit que l'intensité du courant dépend d'une foule de conditions variables et que, dans la pratique, il n'a pas éprouvé ce besoin.

M. Helmholtz. Il est facile pourtant de mesurer l'intensité du courant.

M. de Ziemssen. Mes appareils sont gradués en unités Siemens et portent une boussole avec divisions arbitraires.

M. le Président. La résistance de l'épiderme est égale au $\frac{49}{50}$ de la résistance totale du corps.

M. d'Arsonval. Cela importe peu, car le courant qui traverse le corps passe en même temps par la boussole et par le rhéostat. La boussole est graduée en unités C. G. S., et le rhéostat permet de ramener l'intensité du courant toujours à la même valeur. On opère donc dans des conditions absolument définies et faciles à réaliser.

D'ailleurs cette méthode est appliquée déjà par bon nombre de médecins français. Tous les appareils construits par M. Gaiffe sont gradués en unités C. G. S., et M. d'Arsonval insiste pour que cette méthode soit généralisée.

M. Helmholtz. Cette méthode, en France, étant déjà dans la pratique, M. Helmholtz se rallie à la proposition de M. d'Arsonval ainsi que M. de Ziemssen.

La séance est levée à quatre heures dix-minutes.

DEUXIÈME SECTION

PREMIÈRE SÉANCE

16 septembre 1881

La séance est ouverte à deux heures dix minutes par M. LE COMMISSAIRE GÉNÉRAL, qui invite la section à donner la présidence au doyen d'âge afin de procéder à l'élection du Bureau; l'assemblée prie M. le Ministre de vouloir bien prendre place au bureau.

M. le comte de CRAWFORD ET BALCARRES (Grande-Bretagne) propose de donner la présidence d'honneur à M. le Ministre et de nommer comme Président: M. le Dr MILITZER (Autriche); comme vice-Présidents : MM. BLAVIER (France) et ELSASSER (Allemagne); comme secrétaires : MM. Th. ROTHEN (Suisse) et ORDUÑA Y MUÑOZ (Espagne).

Toutes ces propositions ayant été favorablement accueillies par la Section, le Bureau se trouve ainsi constitué.

M. LE PRÉSIDENT pense qu'il faut avant tout étudier les questions du programme et décider si on les accepte comme base de discussion.

M. NYSTRÖM (Suède) appuie l'avis du Président et demande comment on pourra faire discuter les questions réservées à l'initiative des membres du Congrès.

M. LE PRÉSIDENT demande d'abord si quelqu'un a une proposition à faire relativement au programme et à l'ordre des questions fixées par la Commission française.

M. MERCADIER (France) pense que l'on pourrait tout d'abord dresser l'ordre du jour des questions proposées pour la prochaine séance. Dans l'intervalle, MM. les Membres pourraient présenter au Bureau les questions qu'ils désirent traiter et qui ne sont pas inscrites au programme.

Sur une observation de M. NYSTRÖM, M. MERCADIER insiste pour que

les membres puissent, tous les jours, proposer leurs questions au Bureau pendant la durée du Congrès.

La proposition de M. Mercadier, mise aux voix, est adoptée.

M. le Président prie les personnes qui auraient des questions à présenter, de vouloir bien s'inscrire au Bureau.

La discussion est ouverte sur la première question du programme (télégraphie); il s'agit tout d'abord de la question de la *Comparaison de l'emploi des piles et des machines, en télégraphie.*

M. Marcel Deprez (France) dit que cette question est si simple au premier abord, que la poser, pour lui, c'est la résoudre; les machines dynamo-électriques étant beaucoup moins encombrantes que les piles. Ainsi, au ministère, on emploie dix mille éléments qui seraient remplacés avec avantage par une machine dynamo-électrique comportant dix mille dérivations, par exemple. Pour les petits bureaux, l'étude de la question sera connexe avec celle de la distribution de l'électricité.

M. Baron (France) dit que la solution consiste surtout à trouver une machine divisant le courant à l'infini, mais que pour les petits bureaux ils fonctionnent parfaitement avec des piles de 15 à 20 éléments coûtant 1 franc d'entretien par an.

M. Deprez fait remarquer que sa proposition ne s'appliquait qu'à des postes nécessitant des sources d'électricité considérables.

M. du Moncel (France). La raison qui a fait ajourner la substitution des machines aux piles est complexe : en effet, dans un grand bureau, il y a un grand nombre de lignes qui ont des résistances différentes; en outre, toutes n'ont pas la même importance, et celles même qui seraient dans ce cas ont des heures d'activité différentes. Si l'on a un seul générateur, les intensités varieront et les lignes seront mal desservies.

C'est pour ces motifs qu'on a repoussé la substitution jusqu'à présent. Cependant il existe des machines donnant une intensité constante dans des circuits de résistance variable, telles que celle de M. Marcel Deprez, et d'autres plus simples, paraît-il, appliquées en Amérique. Il y a une autre objection : certaines lignes travaillant la nuit ne nécessitent pas une source aussi grande, et cependant la même machine dynamo-électrique exige toujours la même machine à vapeur.

Nous croyons savoir que de bons résultats ont été obtenus récemment par la substitution des machines aux piles, notamment aux Indes.

M. Deprez pense, comme M. du Moncel, que ce problème est intimement lié à celui de la distribution électrique; mais il affirme qu'il a résolu la question d'une façon pratique et que l'on peut, dans un bureau

central, au moyen de son système, prendre également un courant d'un 100e de Weber ou de 50 Weber sur des bornes de même potentiel.

M. Bergon (France) demande s'il faut pour cela introduire des bobines de résistance.

M. Deprez répond affirmativement.

M. Lartigue (France) fait remarquer que, pour les appareils travaillant avec des piles locales, il faudra, en prenant le courant sur la machine, introduire des résistances et, par conséquent, compliquer les appareils.

M. Hughes (Grande-Bretagne) demande si, avec la machine, il passera pendant chaque millième de seconde une quantité constante d'énergie. Il croit que pour ses appareils il serait difficile d'utiliser des courants ayant des variations vibratoires, et que cela exigerait un réglage continuel.

M. Deprez fait remarquer que la question est actuellement résolue. Avec une machine Gramme faisant dix tours par seconde et ayant soixante lames au commutateur, on a, il est vrai, six cents vibrations, mais on peut rendre le courant constant en introduisant des piles secondaires. D'un autre côté, en Amérique, on se sert déjà de machines à condensateurs.

M. le Président demande si quelqu'un pourrait donner d'autres éclaircissements ou s'il est préférable de laisser la discussion ouverte.

M. Deprez annonce que la question a reçu une solution toute récente de M. d'Arsonval; mais il n'est pas autorisé à en parler encore.

M. Mercadier demande qu'on nomme une Commission qui entendra les auteurs des divers procédés inventés et qui fera un rapport.

M. Hughes fait remarquer que, jusqu'à présent, les piles ont parfaitement suffi à tous les cas, tandis que, en ce qui concerne les machines, on n'est que dans la période d'essai. Pour le moment, la Commission ne pourra qu'écouter les renseignements et comparer les procédés, sans pouvoir prendre une décision.

M. Deprez dit qu'il est prêt à donner au Congrès la démonstration de son procédé :

Soit I l'intensité totale du courant et e la différence de potentiel que l'on veut maintenir constante entre les points où se fait la prise de courant. En désignant par x la résistance variable avec le nombre des dérivations, par r la résistance intérieure de la machine et par E la force électromotrice que la machine doit développer, on a :

$$I = \frac{e}{x} = \frac{E}{r + x}$$

d'où

$$E = e + rI;$$

d'où l'on conclut que la force électromotrice doit être une fonction du premier degré de I. Si l'on enroule deux circuits sur les électro-aimants, l'un recevant le courant de la machine, l'autre un courant venant d'une source extérieure et constant, l'intensité du champ magnétique, et par suite la force électromotrice qu'il développe dans l'anneau, est proportionnelle à $e+rI$, ce qui résout le problème.

M. le Président met aux voix la proposition précédemment faite par M. Mercadier; cette proposition est adoptée.

Sont nommés membres de la Commission chargée d'étudier la question en discussion : MM. Hughes, du Moncel, Deprez, Mercadier, Brix, Baron.

M. d'Arsonval, membre de la chancellerie du Congrès, est invité à assister aux séances de la Commission, avec voix consultative.

(Voir le Rapport de cette Commission, page 298).

M. le Président ouvre la discussion sur la deuxième question : *Des meilleures conditions d'établissement des lignes télégraphiques aériennes, souterraines et sous-marines, sous le rapport de la conductibilité et de l'isolement.*

M. Lartigue (France) demande, si on fixe la discussion de cette question à la prochaine séance, que l'on veuille bien mettre à l'ordre du jour l'étude du bronze phosphoreux. Il croit que l'emploi de ce composé serait très avantageux, s'il est vrai que, sous une section moindre, il offre une conductibilité meilleure et présente une ténacité plus grande que celle des fils actuellement employés.

M. Nyström, tout en remarquant que la question, telle qu'elle est posée, donne une base très large à la discussion, pense que cependant il faudrait étudier, outre la question de conductibilité et d'isolement, celle de la capacité statique des câbles sous-marins.

M. le lieutenant-colonel Webber (Grande-Bretagne) demande que l'on nomme une Commission de neuf membres qui se diviserait en trois sous-Commissions; chacune des sous-Commissions étudierait à part la question entière pour chacune des lignes aériennes, souterraines et sous-marines.

M. Mercadier, en réponse à M. Nyström, dit que lorsque la Commission française a rédigé le projet de programme, elle considérait que la question de capacité était intimement liée à la question d'isolement.

M. le Président met aux voix la proposition de M. Webber, qui est adoptée avec cette modification que la Commission étudiera à la fois les lignes télégraphiques et téléphoniques.

Sont nommés membres de la Commission : MM. Baron, Bergon, Ri-

chard, Boussac, Webber, Ch. Bright, Banneux, Rothen, Bède et Nyström.

M. Nyström demande, à cause de ses fonctions de Commissaire à l'Exposition, que le Congrès veuille bien accepter sa démission en faveur de M. Graves.

M. Hughes propose de nommer M. Graves tout en conservant M. Nyström sur la liste de la Commission.

Cette proposition est acceptée.

M. le Président propose de lever la séance et de remettre au lendemain, deux heures, la discussion des 3e et 4e paragraphes du programme.

L'ordre du jour étant ainsi fixé, la séance est levée à trois heures quarante minutes.

DEUXIÈME SÉANCE

17 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. MILITZER (AUTRICHE)

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures dix minutes.

Le procès-verbal de la précédente séance est lu par M. ORDUÑA Y MUÑOZ (Espagne), *secrétaire*.

A l'occasion du procès-verbal, M. BERGON (France) demande si la Commission nommée dans la précédente séance devra s'occuper des instruments aussi bien que des lignes télégraphiques.

M. LE PRÉSIDENT dit que cette question fera l'objet d'une proposition spéciale.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. van Rysselberghe (Belgique), qui demande à traiter dans la deuxième Section la question d'une ligne télégraphique internationale spécialement destinée à la météorologie.

M. MERCADIER (France), rappelant ce qu'il a dit à la première Section, pense que la question, qui présente deux points de vue, l'un scientifique et l'autre administratif, pourrait cependant être traitée intégralement à la deuxième Section.

M. VAN RYSSELBERGHE (Belgique) se rallie à la proposition de M. Mercadier.

Il sera statué ultérieurement sur cette proposition.

M. BARON (France) demande à faire une rectification au procès-verbal : il a dit, dans la dernière séance, que la dépense d'entretien d'un élément, dans les petits bureaux, s'élève à 1 franc *par an*.

Le procès-verbal est adopté sous la réserve de la rectification signalée par M. Baron.

M. LE PRÉSIDENT consulte la Section pour savoir si la question

proposée par M. van Rysselberghe sera scindée, pour être traitée dans les première et deuxième Sections.

Cette proposition est rejetée.

La Section décide ensuite que la question sera traitée intégralement dans la deuxième Section, et sera mise à la suite de l'ordre du jour.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de l'énoncé de la question qui est à l'ordre du jour :

Des avantages et des inconvénients des relais sur les grandes lignes télégraphiques.

M. ORDUÑA (Espagne) désire seulement connaître l'opinion des membres du Congrès sur la question qu'il présente ainsi : *Les relais sont-ils nuisibles à la transmission dans les lignes télégraphiques ?*

On sait que, quand une ligne est parfaitement isolée, les courants électriques parcourent intégralement la ligne et que tout signal fait à une extrémité se répète à l'autre, sans difficulté, si l'on transmet lentement. Mais si l'on veut transmettre rapidement, il faut, aussitôt après avoir chargé la ligne, préparer la décharge, ce qui conduit à des complications mécaniques. La question se complique encore si l'on transmet en duplex.

Si l'on opère sur des lignes de 400 à 500 kilomètres, on peut employer des condensateurs ; par la transmission directe, au delà de cette distance, le courant de décharge peut détruire complètement les signaux transmis.

M. ORDUÑA demande si, dans ces conditions, il est préférable d'employer un condensateur à chaque extrémité ou un relais au milieu de la ligne. Il croit qu'il serait préférable d'employer un relais, jusqu'à l'époque où, par suite des perfectionnements des duplex, on pourra transmettre sans condensateurs. Il pense que le relais est un remède qu'il faut éviter, s'il est possible, mais un remède qui peut, dans certains cas, être indispensable.

A une demande de M. NYSTRÖM (Suède), M. ORDUÑA répond qu'il est possible de transmettre en duplex sans relais jusqu'à 400 ou 500 kilomètres.

M. BARON fait remarquer que l'on peut atteindre 800 à 900 kilomètres sans relais, mais en employant les condensateurs.

M. LE MINISTRE insiste sur la question posée par M. Orduña, qui consiste précisément à examiner quel est le mode préférable entre l'emploi des relais et des condensateurs.

M. HUGHES (Grande-Bretagne) pense qu'il est très difficile de répondre exactement et de préciser les conditions d'emploi des relais, qui,

cependant, lui paraissent nécessaires sur toutes les grandes lignes. En 1868, lors des essais faits en France avec son appareil, on marchait avec un ou deux relais entre Paris et Lyon; mais les résultats furent plus satisfaisants en les supprimant. En Angleterre, dans des essais analogues, on avait employé un relais spécial : l'appareil marchait moins bien que sans relais. Comme on pensait que les relais étaient indispensables, on en mit jusqu'à quatre; les résultats furent de moins en moins favorables et ne devinrent satisfaisants qu'en supprimant tous les relais.

M. Hughes pense que, sauf les cas exceptionnels, l'emploi d'un relais est utile pour les distances qui dépassent 500 kilomètres.

Les relais peuvent présenter deux espèces différentes de sensibilité : il faut, d'une part, qu'ils fournissent des contacts aussi parfaits que possible; mais, d'autre part, il faut qu'ils obéissent très rapidement, dans un temps excessivement court, principalement pour les appareils imprimeurs. Si le relais est lourd et lent, il serait préférable de n'en point avoir.

Au point de vue de la rapidité, les relais polarisés semblent particulièrement bons, et le meilleur paraît être celui de M. d'Arlincourt.

Les relais présentent un inconvénient, celui d'exiger un réglage, même ceux dits *sans réglage*.

Les relais, en somme, peuvent être avantageux; mais il y a une limite à leur emploi. On le comprend facilement, car il est certain que, par l'emploi de vingt relais sur une ligne de 1 kilomètre, il y aurait certainement un retard dans la transmission.

M. Ant. Breguet traduit une note de M. Graves (Grande-Bretagne) qui contient les renseignements suivants : En Angleterre, on pense qu'il y a avantage dans l'emploi des relais sur les lignes de 300 milles et plus (480 kilom.); on les emploie sur toutes les lignes partant de Londres et dépassant cette longueur, en les disposant de manière à pouvoir les retirer du circuit. Grâce à eux, sur la ligne de Londres à Dublin, la vitesse de transmission du Wheatstone automatique a augmenté de 90 à 150 mots par minute : sur cette ligne, le relais, toujours employé, est placé à environ 260 milles (420 kilom.) de Londres et à 20 milles (32 kilom.) de l'extrémité de la ligne sous-marine qui a environ 72 milles (108 kilom.) de longueur; la station de Dublin est, d'autre part, à 10 milles (16 kilom.) de la jonction de la ligne sous-marine et de la ligne aérienne.

Sur la ligne de Glasgow, de 400 milles (650 kilom.), on travaille, avec des relais, à Manchester ou à Leeds, et l'on transmet jusqu'à 200 mots par minute. Sur la ligne d'Aberdeen, 600 milles environ (960 kilom.), on

se sert de deux relais, l'un à Leeds, l'autre à Édimbourg, et l'on atteint la même rapidité de transmission.

M. Graves pense que l'emploi des relais a, en somme, augmenté la rapidité de la transmission.

En réponse à une demande de M. Blavier, M. Graves répond que l'on emploie en Angleterre un relais polarisé spécial.

M. Nyström (Suède) dit que l'on peut transmettre en duplex à 600 kilomètres, sans relais, en employant des condensateurs, et que l'emploi des relais est coûteux parce qu'il exige l'intervention d'employés.

M. Graves complète sa communication en disant que les relais employés sont des modèles spéciaux, notamment un relais Siemens polarisé Il y a actuellement, au départ de Londres, dix circuits possédant chacun un relais et disposés de manière à transmettre régulièrement 200 mots par minute.

M. le comte du Moncel (France) pense que l'on ne doit employer les relais que lorsque l'on ne peut faire autrement, mais que c'est quelquefois une nécessité. Le relais d'Arlincourt, précédemment cité, donne de bons résultats et même augmente la rapidité de la transmission, par suite des réactions secondaires qui s'y produisent et qui, à la cessation du courant et par suite du *coup de fouet*, produisent physiquement la mise à la terre et la décharge de la ligne, action qui s'obtient mécaniquement dans les autres appareils.

Quoi qu'il en soit, le relais n'est qu'un remède, et il faut s'en passer lorsqu'on le peut.

M. Elsasser (Allemagne) fait remarquer que l'on peut employer les relais, soit à l'extrémité des lignes, soit sur le parcours, comme translateurs.

M. Hughes répond qu'il n'a voulu parler que des translateurs. L'emploi des relais locaux dépend surtout des appareils employés, qui peuvent exiger une grande force.

M. le Ministre annonce que si la section croit utile de faire des expériences sur ce sujet, ou sur tout autre, l'administration française est prête à satisfaire aux demandes qui se présenteraient, et pour lesquelles l'Exposition pourrait être une occasion exceptionnellement favorable.

M. le Président remercie le ministre et, jugeant la question épuisée, demande quelle question la section désire aborder.

M. van Rysselberghe, avant la clôture de la discussion, demande à préciser la question suivante : *Une ligne qui fonctionnait bien avec cinquante éléments cesse de fournir des résultats satisfaisants ; que convient-il de faire ? augmenter la pile ou intercaler un relais ?*

MM. Hughes et Bergon pensent qu'il n'y a pas de réponse absolue à faire à une question ainsi posée, qu'il faudra étudier les conditions de la ligne et se décider ensuite.

M. Blavier (France) partage cette opinion.

M. Bergon pense que, sur les très grandes lignes, il se produit un ralentissement de la transmission qui peut être évité par l'emploi des relais translateurs. Cette disposition, fractionnant la ligne en parties moins longues, diminue, en outre, l'influence des courants terrestres ou atmosphériques.

M. le Président dit que l'on emploie l'appareil Hughes avec relais translateur d'Arlincourt entre Vienne et Paris; il n'y a jamais eu de dérangement depuis 1874. De même il y a un relais polarisé Siemens sur la ligne Vienne-Londres; mais, pendant la nuit, on emploie la transmission directe.

M. Militzer pense que, dans les petits bureaux, il peut être utile d'employer des relais avec les appareils Morse, parce que leur réglage est plus facile que celui de l'appareil même.

M. Orduña demande à préciser la comparaison entre l'emploi des relais et des condensateurs.

La question sera posée ultérieurement à la section.

M. le Président donne lecture de la question suivante du programme : *Dispositions à adopter pour les paratonnerres des lignes télégraphiques. Avantages et inconvénients des fils préservateurs.*

M. Blavier, parlant des paratonnerres à fil fin préservateur, pense qu'ils sont une cause de dérangement, et désirerait savoir si, à la connaissance des membres de la section, ils n'ont pas donné lieu à des accidents.

M. Lartigue (France) pense que les inconvénients qui ont pu se manifester proviennent de ce qu'en général, ces fils sont masqués et que l'on ne voit pas lorsqu'ils sont fondus; au chemin de fer du Nord, on emploie une disposition par laquelle, lorsque le fil fond, la chute d'un poids qu'il supportait produit immédiatement la mise à la terre de la ligne, évitant ainsi les accidents. Le temps qui s'écoule avant cette mise à la terre est très court; il n'a pas été mesuré exactement, mais depuis que cette disposition est employée, quinze ans environ, on n'observe plus la détérioration des parafoudres à pointes, ainsi que cela avait lieu autrefois.

On emploie aussi, au chemin de fer du Nord, des paratonnerres à pointes et à papier qui donnent de bons résultats.

M. Blavier fait remarquer que, si ces derniers sont suffisants, les premiers son inutiles.

M. Lartigue ne peut affirmer qu'ils donnent une aussi grande sécurité.

M. du Moncel, se référant à des expériences faites en 1866 par M. Guillemin et qui ont donné lieu à un intéressant rapport, pense que l'utilité des fils préservateurs est d'autant moindre que les dispositions des parafoudres, auxquels ils sont joints, sont meilleures et que, lorsque celles-ci sont réellement bonnes, le fil fin est à peu près inutile.

Il rappelle quelques-uns des points sur lesquels ont porté les expériences; on a reconnu, par exemple, que la *surface* du conducteur a une grande influence, et qu'une lame métallique mince doit être préférée à un fil de large section.

On a étudié également l'influence du nombre des pointes, de leur rapprochement, de leur forme. A ce dernier point de vue, des cardes seraient très satisfaisantes, si elles ne risquaient de se détériorer trop facilement.

On a été conduit alors à employer un système mixte dont on a été satisfait; mais on a remarqué que souvent alors le fil fin ne brûle pas et ne rougit même pas.

M. Banneux (Belgique) dit que, en Belgique, depuis plus de vingt-cinq ans, il n'y a que des parafoudres à plaques et à feuilles de papier; ils sont placés en dérivation sur les fils de lignes; on en place un au commutateur général des bureaux et d'autres, plus petits, près de chaque appareil. Même dans les années orageuses, on ne relève pas plus de 2 bobines brûlées sur 100.

M. Elsasser fait connaître qu'en Allemagne, où l'on emploie des paratonnerres à plaques et à pointes, ceux-ci ont parfaitement suffi jusqu'à présent; les accidents sont très rares. Mais pour les lignes téléphoniques, à cause des conditions d'établissement des fils et de la faible épaisseur de la couche de soie isolante, on se sert de paratonnerres à fil fin. La préservation a été très bonne jusqu'à présent.

M. le lieutenant-colonel Webber (Grande-Bretagne) dit que, dans ce pays, les paratonnerres à plaques et à papier paraffiné ont remplacé les systèmes précédemment essayés. On place ces paratonnerres à la jonction des lignes souterraines et des lignes aériennes ainsi qu'aux extrémités des lignes sous-marines, même de peu d'étendue, qui traversent des cours d'eau, des estuaires. Sur les lignes de l'est de l'Angleterre, on fait un examen, chaque semaine, en été, et souvent on observe des papiers percés, mais toujours le câble est préservé. Comme les trous dans le papier ne produisent, en général, aucune perturbation sérieuse, il importe de faire un examen fréquent et complet.

M. Hughes a fait partie d'une Commission française qui a étudié les paratonnerres, en 1865, et qui a fait un rapport inséré aux *Annales télégraphiques*. On employait de très fortes charges qui devaient traverser un fil fin en avant duquel on plaçait, en dérivation, le paratonnerre à étudier. Dans tous les cas, le fil fut brûlé, alors même que la dérivation était produite par un gros fil au contact du conducteur.

Les paratonnerres à plaques ont alors été jugés les meilleurs, mais l'emploi de bobines préservatrices est avantageux. Il croit même que, dès cette époque, on a signalé l'avantage qui pouvait résulter de l'emploi d'un fil tendu.

M. du Moncel dit que les expériences dont parle M. Hughes sont antérieures à celles qu'il rappelait précédemment. Il ajoute que l'idée de la mise automatique à la terre est ancienne et qu'il existe cinq ou six systèmes différents de ce genre.

La suite de la discussion est renvoyée à la prochaine séance, qui aura lieu le lundi 19 septembre, à deux heures.

M. Orduna demande que la question suivante soit mise à l'ordre du jour :

Puisque la décharge ne nuit pas à la transmission des signaux télégraphiques dans les lignes courtes, serait-il préférable, pour une ligne longue desservie en duplex, d'employer des condensateurs ou un relais translateur au milieu du circuit?

Il est décidé que cette question sera mise à la suite de l'ordre du jour.

La séance est levée à trois heures cinquante-cinq minutes.

TROISIÈME SÉANCE

19 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. MILITZER

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures dix minutes.

M. le secrétaire ORDUÑA Y MUÑOZ donne lecture du procès-verbal.

M. le comte DU MONCEL (France), à propos du procès-verbal, craint de n'avoir pas été bien compris; il semblerait qu'il eût dit qu'une lame mince et large est plus favorable à l'écoulement d'une décharge foudroyante qu'un fil de grande section. Mais l'exemple de la feuille d'étain qu'il a cité n'était qu'un exemple *à fortiori*. Un conducteur qui réunirait à la fois la surface et l'épaisseur serait certainement plus favorable. D'ailleurs, les expériences de M. Guillemin ne concernent que la grandeur de la surface et non l'épaisseur. M. du Moncel a apporté un résumé des expériences de M. Guillemin; comme ce résumé n'a jamais eu une grande publicité, il offre de le lire, si le président veut bien lui donner la parole.

Le procès-verbal est adopté.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que dans la question en discussion on ne s'est encore occupé que de l'établissement des paratonnerres en station. Il pense qu'il sera utile de s'occuper aussi de l'établissement des paratonnerres sur les supports de lignes aériennes.

La parole est donnée à M. DU MONCEL.

M. DU MONCEL : Dans un poste, le fil de ligne, avant d'aboutir à l'appareil, est relié à un parafoudre (en dérivation) et à un paratonnerre à fil préservateur. Plus la protection donnée par le parafoudre est grande, plus est faible la longueur de fil brûlé. Les expériences ont donné les résultats suivants :

1° Quand la décharge passe simplement dans le fil préservateur, celui-ci est fondu sur une longueur de 50 à 60 centimètres; 2° quand la

décharge se bifurque, la longueur brûlée varie suivant les conditions du circuit et la disposition des parafoudres adoptés; 3° avec des circuits courts, et quand rien ne fait ralentir la décharge, l'influence du parafoudre est insignifiante; il n'en est pas de même dans le cas contraire, quand la décharge est ralentie, ce qui est le cas d'une décharge atmosphérique; 4° en ralentissant suffisamment la décharge, de façon à fondre 15 millimètres de fil préservateur, l'adjonction du parafoudre porte cette longueur entre 2 et 9 centimètres, suivant la disposition du parafoudre; 5° avec parafoudre à plaques, 20 à 30 millimètres fondus; 6° même résultat avec parafoudre à 12 pointes; avec 6 pointes, 4 centimètres fondus; même résultat avec 12 pointes, si elles sont émoussées; 7° dans de bonnes conditions, le pouvoir protecteur augmente avec le nombre des pointes; mais dans de mauvaises conditions, leur multiplicité est nuisible; 8° on peut rapprocher jusqu'à 2 millimètres les pointes entre elles, quand elles sont suffisamment aiguës; pour les pointes ordinaires, la meilleure distance est de 5 millimètres; 9° les parafoudres doivent être à plaques et à pointes : à plaques, pour protéger contre le coup foudroyant; à pointes, pour affaiblir la tension des nuages orageux.

D'après les recherches de M. Gaugain, il semblerait que l'électricité statique dût suivre dans un conducteur métallique le chemin indiqué par les lois des courants voltaïques; or cela est vrai pour un flux d'électricité statique arrivé à son état permanent de tension; mais comme dans la décharge atmosphérique on est dans la période variable, il n'est pas étonnant que l'expérience donne des résultats différents. Une simple lame d'étain exerce une action protectrice beaucoup plus grande qu'un fil de fer de gros diamètre. On arrive donc à cette conclusion, que la communication doit être établie avec des lames de cuivre de 4 à 5 centimètres de largeur sur 1 millimètre d'épaisseur; qu'une lame de 1 mètre carré de surface doit être placée dans un sol humide. Ce conducteur suffit pour 5 à 6 fils.

En somme, après les recherches de Kirchhoff sur la conductibilité des milieux indéfinis, on a résolu de donner le plus de surface possible aux conducteurs de dérivation. Ainsi, à la Commission des paratonnerres de Paris, on a décidé de lier les dérivations aux tuyaux de gaz et aux tuyaux de conduite d'eau, bien que certains ingénieurs aient exprimé la crainte de voir les ouvriers exposés à recevoir des décharges foudroyantes. Cette crainte paraît chimérique à l'orateur, à cause de la grande surface de communication des conduites d'eau; par exemple, avec l'eau, la tension en chaque point doit être très petite, et d'ailleurs aux États-Unis, où l'on emploie ce procédé, on n'a pas eu à signaler d'accidents. Pour l'établisse-

ment des paratonnerres des édifices municipaux, comme des parafoudres pour les lignes télégraphiques, la grande question consiste à établir une bonne communication avec le sol. On établit généralement cette communication au moyen de bottes de fil de fer immergées dans un puits. M. du Moncel préférerait se servir des conduites d'eau ou de gaz, s'il est certain que cela ne constitue pas un danger; peut-être même serait-il utile dans ce cas de changer les décisions prises autrefois par la Commission des paratonnerres.

M. Blavier (France) regrette que M. du Moncel n'ait pu assister à la séance de la première Section, où M. Helmholtz et d'autres membres ont présenté des observations intéressantes; mais il veut faire remarquer tout de suite que, contrairement à M. Guillemin, qui admet que les parafoudres à pointes facilitent les décharges, la première Section était d'avis que la décharge par pointes isolées était très faible. M. Blavier ne pense pas que les parafoudres à pointes pourront servir efficacement à décharger l'électricité atmosphérique; si les pointes sont très rapprochées, le parafoudre agira comme un parafoudre à plaques. M. Blavier croit devoir revenir à la question, qui est celle-ci : *Peut-on, oui ou non, supprimer les fils préservateurs, quand les parafoudres sont bien établis?* Pour lui, il est d'avis de les supprimer. Certes, on peut les conserver dans les chemins de fer, où les communications sont faciles et rapides et la surveillance constante; il n'en est pas de même pour les petits bureaux, souvent éloignés des centres. Si le Congrès admettait que cette suppression fût possible, il rendrait un grand service à l'Administration des télégraphes, qui n'hésiterait pas à l'ordonner, surtout pour les petits bureaux.

M. du Moncel explique qu'il n'a fait que rapporter les conclusions de M. Guillemin, mais qu'il partage absolument l'avis de M. Blavier. Il ne croit pas que les parafoudres à pointes puissent soustraire l'électricité atmosphérique. Le flux d'électricité attiré par les pointes est négligeable. On ne doit réellement s'occuper que des coups foudroyants. Pour ces cas, les parafoudres à plaques ont donné de très bons résultats. On n'a ajouté les pointes qu'après les expériences de M. Guillemin. On a dès lors admis la disposition mixte où, d'après lui, les pointes ne jouent qu'un rôle secondaire à côté des plaques.

M. Mercadier (France) croit résumer la discussion en disant que, s'il n'y a pas moins d'accidents en France que dans les pays où l'on n'emploie pas de fils préservateurs, il faut supprimer ces derniers.

M. Preece (Grande-Bretagne). Dans les bureaux anglais et aux extrémités des divers câbles sous-marins du Post-Office, on se sert de fils

préservateurs. L'appareil a une forme particulière : au fil de ligne est attaché un fil mince de platine recouvert de soie. Le fil s'enroule sur une sorte de bobine de laiton en communication avec le sol. Le fil isolé communique avec un parafoudre à plaques, et, au moyen d'une dérivation secondaire, avec un parafoudre formé de deux pointes contenues dans un œuf où on a fait le vide. Le fil se relie ensuite aux appareils.

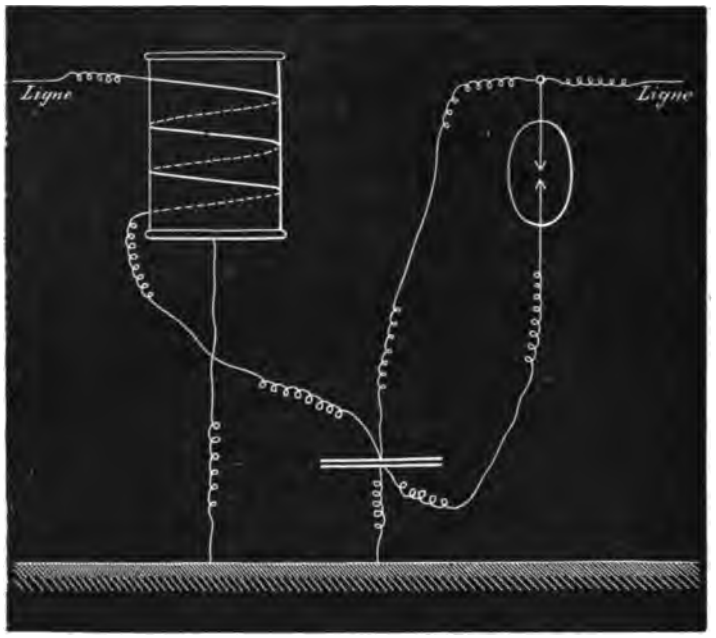

Fig. 25.

Sur une demande de M. Bergon, M. Preece indique que le fil enroulé a une longueur de 1 mètre, une résistance de dix ohms, et un diamètre d'un dixième de millimètre. Les plaques ont 10 centimètres carrés de surface; on les sépare au moyen d'une feuille de papier paraffiné. M. Preece ajoute que l'on ne considère pas comme nécessaire, pour les bureaux, l'usage de fils préservateurs.

M. Raynaud (France). On n'a jamais osé se prononcer complètement contre le parafoudre à fil préservateur; car si le coup de foudre est assez violent pour rougir le fil sans le fondre, la combustion de la soie donne la communication avec le sol; sans cela les bobines brûleraient.

M. Nyström (Suède) indique qu'en Suède on emploie les parafoudres à pointes. Il propose à la section de remettre la suite de la discussion à la séance suivante; on pourrait y apporter des échantillons des parafoudres employés dans les différents pays. (Cette proposition est adoptée.)

M. LE PRÉSIDENT demande si un des membres a des renseignements à donner sur l'établissement des paratonnerres sur les poteaux.

M. BLAVIER dit qu'en France on en plaçait autrefois à tous les kilomètres; comme ils ne produisaient pas grand effet, on les a supprimés.

M. WEBBER (Grande-Bretagne). En Angleterre, on met dans chaque poteau un fil qui le traverse dans toute sa longueur, et descend jusqu'au sol. La communication y est établie par un pelotonnement du fil. Celui-ci ne touche à aucune des ferrures qui sont sur le poteau; mais il est joint par un fil plus petit aux consoles en bois qui supportent les isolateurs. Ce fil fait trois ou quatre tours sur ces consoles sans toucher aux pièces de fer des isolateurs. Cet ensemble n'a pas pour but d'être un paratonnerre pour le poteau; il agit comme un fil de dérivation à la terre (*earth wire*), quand il y a trop de courant sur les fils, pendant les orages; il se produit alors un flux d'électricité entre les fils de ligne et les fils des poteaux. M. Webber cite à l'appui le fait d'un homme tombé d'un poteau par suite d'un choc : l'orage était à ce moment à vingt kilomètres environ du poteau.

Sur une observation de M. Graves, il ajoute qu'autrefois on ne croyait pas que des parafoudres de ce genre pussent être utiles sur les lignes à un seul fil; mais qu'on est revenu de cette erreur, et que l'on applique ce système, sur les lignes à un seul fil, à un poteau sur cinq.

Sur une observation de M. Raynaud, M. Webber ajoute que la lame d'air à traverser par le flux électrique est de deux à trois pouces (cinq à six centimètres).

M. HUGHES (Grande-Bretagne) fait observer que si la dérivation n'aboutit pas à un sol favorable, il pourrait se produire, au moyen de ce système, des échanges d'électricité entre les différents fils.

M. WEBBER répond que cela ne peut se produire que lorsque le poteau est très mouillé; sinon, en effet, l'épaisseur de bois qui sépare chaque fil est peu favorable à un pareil échange. En outre, en Angleterre, le sol très humide est toujours favorable à l'écoulement de l'électricité.

M. JOUSSELIN (France) dit que sur le réseau de Paris-Lyon-Méditerranée, lorsque l'on ne préservait pas les fils de tunnels, les coups foudroyants produisaient fréquemment la rupture de câbles à trois fils. Actuellement, on place à chaque tête de tunnel un parafoudre de Bertsch; depuis, on n'a plus signalé d'accident, sauf un seul dans le tunnel de Saint-Irénée (2,200 mètres de longueur), où un câble à cinq fils a été endommagé. Les parafoudres ont une importance considérable pour la préservation des lignes; ils sont indispensables sur les lignes souterraines.

M. ELSASSER (Allemagne). En Allemagne, on place des parafoudres

aux deux extrémités des câbles qui traversent des tunnels ou des cours d'eau importants. On emploie des parafoudres d'une construction simple, parce que les points où ils sont placés sont très éloignés des bureaux centraux. Une plaque en cuivre jaune A portant des stries circulaires sur sa face supérieure est vissée sur une tige également en cuivre jaune. Sur cette tige se fixent deux cloches en ébonite intérieures l'une à l'autre et séparées l'une de l'autre par une rondelle en caoutchouc vulcanisé. Ces cloches sont maintenues en place au moyen d'une goupille qui traverse la tige en cuivre jaune. Elles sont serrées contre la tige de cuivre, et maintenues en place au moyen d'une bague en cuivre jaune dont le plan supérieur est à 1 millimètre ou $1^{mm},05$ au-dessus de la face supérieure de la plaque A. Le tout

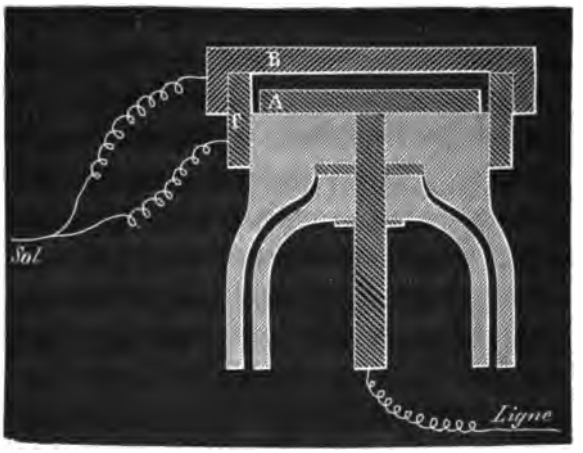

Fig. 26.

est surmonté d'un couvercle en cuivre jaune B, qui porte à sa face inférieure des stries linéaires. B et C communiquent ensemble et avec le sol, et la tige de cuivre avec le fil de ligne. Avant l'emploi de ces parafoudres, des câbles brûlaient quelquefois; aucun n'a été atteint depuis.

Personne ne demandant plus la parole sur cette question, M. le Président donne la parole à M. Lartigue.

M. Lartigue. Une question qui se rattache à celle des parafoudres consiste à savoir si les lignes télégraphiques ou téléphoniques, posées sur les édifices, constituent un danger ou préservent au contraire de la foudre. Les propriétaires consentent difficilement à autoriser la pose de fils sur leurs maisons. Cependant les compagnies d'assurances, après discussion, n'ont pas cru devoir modifier les risques prévus dans les différentes polices. M. Lartigue pense qu'il serait utile que le Congrès prît une décision que

ferait accepter par tout le monde sa haute autorité. Il ne croit pas que les fils puissent constituer un danger; au contraire, son expérience lui prouve qu'ils servent, en quelque sorte, à drainer l'électricité de l'atmosphère et à éviter les coups de foudre. Il désirerait que le Congrès s'occupât de cette question.

M. Montigny (Belgique) a eu l'occasion d'observer un cas assez curieux sur la route de Rochefort à Dinan. Une ligne télégraphique traverse une forêt bordée de peupliers du Canada. Sur 480 arbres, 81 ont été frappés par la foudre, tous du côté où passe le fil, et presque tous au-dessus de ce fil. Il conclut des observations qu'il a faites, que de deux édifices identiques construits l'un dans un bois et l'autre en plaine et aux murs desquels sont fixés des fils télégraphiques, le premier est plus sujet à recevoir des coups de foudre que le second. Le danger est plus grand encore si l'édifice construit dans un bois est sur une éminence.

M. Bède (Belgique). Les compagnies d'assurances belges ont suivi l'exemple des compagnies françaises. D'après M. Bède, le fil téléphonique, par exemple, aboutit très bien au sol par ses deux extrémités (appareil chez l'abonné et au bureau central). Les fils portent des ligatures; toutes présentent deux pointes; une ligne constitue donc un parafoudre à pointes.

M. Lartigue signale le fait suivant : un orage violent éclata l'année dernière à Paris; un coup de foudre est tombé tout près du bureau central des téléphones; il n'y a pas eu un seul appareil brûlé.

Mlle Gloesener (Belgique) signale qu'en 1875, à Liège, la foudre tomba sur une maison sur laquelle était établi un fil télégraphique. L'électricité s'en alla dans la terre par le poste le plus voisin.

M. Lartigue a mis des parafoudres à plaques chez tous les abonnés de téléphones. Le papier de ces parafoudres est souvent percé de trous, ce qui indique que les fils aériens ont servi de conducteurs à l'électricité atmosphérique.

M. Bède signale qu'à Bruxelles, à chaque orage, un bureau central des téléphones, qui primitivement n'était pas muni de parafoudres suffisants, s'illuminait à chaque violent éclair; il a eu quelques bobines brûlées. La preuve que les fils servaient de paratonnerres, c'est que beaucoup de parafoudres étaient brûlés chez les particuliers.

M. Webber (Grande-Bretagne) a observé la marche des orages dans la campagne; il a tracé leurs courses; et il a remarqué que ces orages suivent toujours le même chemin, et que, durant cinq ans, dans tous les points où leur route traversait un parcours de lignes télégraphiques, il n'y a pas eu de coups de foudre. En Angleterre, les ingénieurs télégraphistes

sont d'avis que les fils protègent les maisons. Il signale pour sa part que dans la Cité, à Londres, où les fils forment dans le ciel comme une immense toile d'araignée, il n'a pas entendu parler, depuis neuf ans, d'une maison foudroyée; et cependant les tours qui avoisinent Saint-Paul et les hautes cheminées d'usine reçoivent souvent des coups de foudre. En somme, on signale souvent des accidents arrivés aux instruments, mais les maisons sont toujours sauvées.

M. Bède dit qu'en Belgique on ne met jamais de paratonnerres aux chevalets qui supportent les fils téléphoniques.

M. Rothen signale qu'il en est de même en Suisse, à moins que les particuliers ne demandent des paratonnerres.

M. Hughes (Grande-Bretagne) signale, à propos des fils téléphoniques, un accident curieux, qui s'est déjà produit trois fois à sa connaissance : lorsque les ouvriers réparent les fils, si ces fils cassent brusquement, leur grande tension les fait s'enrouler autour du cou des hommes et les étrangle.

M. Lartigue profite de cette occasion pour rappeler au Congrès que cette question viendra en discussion utile lorsqu'on s'occupera du bronze phosphoreux. Il revient à ce qu'il demandait au commencement de la discussion : que le Congrès fasse connaître son opinion sur le danger ou la sécurité que peuvent apporter à un édifice des fils télégraphiques ou téléphoniques.

M. le Président annonce que la prochaine séance aura lieu le jeudi 22, à deux heures, pour la discussion de la suite des questions inscrites au programme.

M. le Ministre demande à la section si elle veut porter la question de M. Lartigue à la séance plénière du lendemain, pour que le Congrès réuni prenne une décision.

Cette proposition est adoptée.

M. Bergon (France) demande à la section de vouloir bien adjoindre un membre allemand à la première Commission nommée dans la séance du 16 septembre.

M. Elsasser est désigné pour cette Commission.

La séance est levée à trois heures cinquante-cinq minutes.

QUATRIÈME SÉANCE

22 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. MILITZER

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures vingt minutes.

M. le secrétaire ORDUÑA Y MUÑOZ donne lecture du procès-verbal de la dernière séance.

M. BLAVIER (France) fait observer, à propos du procès-verbal, qu'il n'a pas dit qu'on avait disposé d'une façon générale un paratonnerre sur chaque poteau; on a seulement fait des essais sur deux lignes du Nord, en 1850 et 1852, en plaçant à tous les kilomètres un paratonnerre consistant en un fil de terre et une pointe verticale en haut du poteau.

M. BÈDE (Belgique) demande également à faire une rectification en ce qui le concerne : il a voulu dire que le Bureau central de Bruxelles s'illuminait avant la pose des parafoudres; depuis lors, ce phénomène ne s'est plus présenté.

Le procès-verbal est adopté.

M. LE PRÉSIDENT demande si la Section est d'avis de continuer la discussion des questions du programme. Il fait observer qu'en ce qui concerne la question soulevée par M. Lartigue, au sujet des fils télégraphiques et téléphoniques installés sur les édifices, comme elle doit être traitée en séance plénière, il y a lieu de passer outre. Il demande que la Commission nommée pour étudier les meilleurs modes d'installation des lignes aériennes, souterraines et sous-marines rende compte de l'état de ses travaux.

M. BERGON (France) pense que, si M. le Président veut bien donner la parole au secrétaire de la Commission, il exposera les travaux des trois premières séances.

M. BOUSSAC (France), secrétaire, donne lecture des procès-verbaux des trois premières séances et termine en énonçant les vœux et observations de la Commission.

Premier vœu. — Une entente sera établie entre les administrations télégraphiques des divers pays, à l'effet d'instituer des expériences périodiques de mesures sur les fils internationaux.

Deuxième vœu. — Dans les marchés et publications, on ne désignera désormais, dans tous les pays, les fils que par leur diamètre exprimé en millimètres ou fractions de millimètre, à l'exclusion de toute indication de jauge.

Observations :

1° La meilleure matière pour former les isolateurs est la porcelaine, et la meilleure forme est la double cloche ;

2° En ce qui concerne l'injection des poteaux, les meilleures substances sont le sulfate de cuivre et la créosote, selon les convenances des divers pays ;

3° Les poteaux de bois doivent être généralement employés, sauf dans les cas particuliers où les poteaux de fer peuvent présenter certains avantages ;

4° Les fils employés pour la construction des lignes télégraphiques doivent être des fils de fer galvanisé. Les essais faits jusqu'à ce jour sur l'acier et le bronze phosphoreux n'ont pas donné des résultats suffisamment précis pour qu'il soit possible de se prononcer, du moins en ce qui concerne la construction des lignes télégraphiques ;

5° Les modes de raccordement des fils de lignes aériennes reconnus les meilleurs sont : le manchon français et le joint britannia. Toutefois, la Belgique emploie encore la torsade double soudée, qui lui donne de bons résultats.

M. Bergon (France) ajoute qu'il y aura lieu d'examiner également la qualité de la gutta-percha et de l'ozokérite.

M. le Président met successivement aux voix les vœux émis par la Commission. Ils sont adoptés à l'unanimité par la Section.

M. Blavier (France) dit qu'il n'y a pas lieu de faire adopter par la Section les observations de la Commission ; mais qu'elles peuvent être prises en considération.

M. le Président répond que chaque administration sera libre de leur donner la suite qu'elle jugera convenable.

M. Nyström (Suède), à propos du premier vœu de la Commission, dit qu'il serait peut-être convenable de discuter à nouveau cette question, afin d'arriver à un système uniforme de mesures.

M. Raynaud (France) répond que, la première Section ayant terminé ses travaux sur les unités électriques, il n'y a plus lieu de revenir sur la

question, puisque le Congrès a sanctionné les décisions de la première Section.

M. Bergon répond que les administrations intéressées se communiqueront les résultats de leurs expériences et s'entendront sur la nature des instruments à employer.

M. le Président propose de reprendre la suite de la discussion du programme.

M. du Moncel (France) fait observer que la question des parafoudres ne lui semble pas complètement épuisée, surtout en ce qui concerne les installations des fils de terre dans les petits bureaux, où l'on se contente souvent de paquets de fil enroulé.

M. Raynaud annonce que les fils de terre ne s'installent plus de la même façon. On prend la terre aux conduites d'eau et aux conduites de gaz qui ne sont pas en plomb ; car, pour les conduites en plomb, s'il y a fissure, la foudre peut entraîner la fusion du plomb et l'incendie, comme cela est arrivé à Calais. Il ajoute, d'après une communication de M. Baron, qu'au bureau central de Paris, la terre est prise sur des plaques présentant une surface de 150 mètres carrés.

M. Blavier (France) fait observer que la bonne installation des fils de terre lui paraît facile à constater, lorsqu'il n'y a pas de dérivation sur les autres fils.

M. Webber (Grande-Bretagne) dit que, dans les petits bureaux anglais, on prend la terre à l'aide de plaques en fonte galvanisées de 1 mètre carré de surface et que cela est très suffisant, vu l'état d'humidité du sol en Angleterre. Dans ce pays, le département de la guerre s'est beaucoup occupé de la question des paratonnerres pour les magasins à poudre; le comité institué à cet effet a fait un rapport dont les conclusions ont été que les communications à la terre étaient mauvaises. On a dès lors décidé le changement de tous ces paratonnerres. M. Webber rappelle en terminant que, lorsqu'il a pris le service, une superstition régnait encore, de dorer les pointes des paratonnerres avec des guinées de la reine Anne.

M. du Moncel répond que sa question visait surtout les bureaux éloignés des réservoirs d'eau. Il ajoute que dans certains endroits on a mis le fil de terre sous des tuyaux de gouttières, disposition qui ne lui paraît pas plus efficace que celle qui consiste à se servir de plaques entourées de poussier de charbon. Il termine en demandant à ce sujet l'avis de la Section.

M. Raynaud répond que, dans ce cas, on va chercher la terre à la masse d'eau la plus voisine, au moyen d'un fil aérien.

M. Lartigue (France) dit que, dans les chemins de fer, on emploie

les rails eux-mêmes comme fils de terre, parce qu'ils ont des contacts continus avec le sol, depuis que les rails sont retenus par des éclisses. Il ajoute que la solution de M. Raynaud a dû être employée à Dinan, où l'on a fait une ligne jusqu'à la Meuse, pour trouver une terre suffisante.

M. le Président annonce qu'en Autriche, où quelquefois l'on ne trouve pas d'eau, surtout dans la région des Alpes, on construit une véritable ligne avec un fil de fer de 5 millimètres, enterré dans le sol jusqu'à ce qu'on arrive à une couche de terrain un peu humide.

M. le capitaine Botto (Italie) demande la permission d'exposer la façon dont on a procédé à l'abbaye de Monte-Cassino, où l'on ne rencontre que du calcaire. Le P. Secchi, modifiant la première disposition de Scarpellini (1828), a relié le paratonnerre à une lame verticale de 1 mètre, à laquelle est soudée une tige horizontale en cuivre de 4 mètres de longueur.

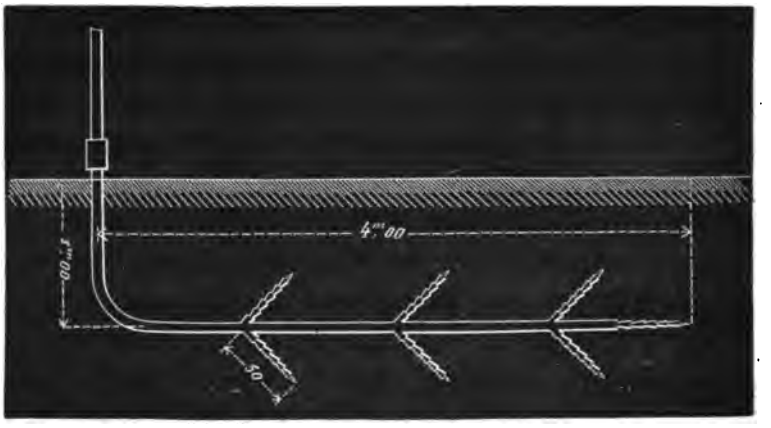

Fig. 27.

Sur cette tige sont fixées six lames cannelées, de 50 centimètres, à dents très rapprochées, pointues et disposées en arêtes de poisson. La pointe de tige est elle-même cannelée. L'appareil est enfoui dans une cavité de 4 mètres de long sur 2 de large.

M. Webber (Grande-Bretagne) rend compte d'une communication de M. Preece. A l'époque du meeting de la *British Association*, on fit l'essai du paratonnerre de la cathédrale d'York, et l'on y a trouvé une résistance de 40 ohms. Le secrétaire du comité du département de la guerre a trouvé, avec l'appareil du capitaine Bucknill, des paratonnerres présentant des résistances de 7,000 à 8,000 ohms.

Personne ne demandant la parole, la séance est levée à trois heures quarante-cinq minutes, et renvoyée au lendemain à deux heures.

CINQUIÈME SÉANCE

23 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. MILITZER

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures quinze minutes.

M. LE PRÉSIDENT invite les membres à prendre la parole sur les questions concernant la téléphonie et indiquées au programme.

M. BLAVIER (France) pense que la question des perturbations dans les lignes téléphoniques se rattache aux travaux de la Commission.

M. LARTIGUE (France) demande si la discussion doit porter sur les lignes seulement, ou sur les appareils?

M. BLAVIER répond que c'est évidemment sur les deux.

M. BÈDE (Belgique) est aussi d'avis que la question embrasse tout.

Il déclare que les empêchements ne sont ni scientifiques ni industriels, mais administratifs et individuels.

La France est le premier pays ayant accordé des concessions téléphoniques. La difficulté qu'on rencontre provient de la résistance des particuliers à l'établissement de ces lignes. Les lignes aériennes téléphoniques diffèrent des lignes télégraphiques par leur plus grand nombre de fils. Le moyen de les établir est de placer ces fils sur des chevalets fixés aux maisons. En Belgique, les chevalets portent quelquefois 120 à 150 fils. Outre la foudre, y a-t-il d'autres inconvénients? Les chevalets actuels sont des poutres de bois de 10 à 12 centimètres et le poids porté par une de ces charpentes s'évalue par une centaine de kilogrammes. De plus, pour éviter l'induction, les fils doivent être espacés de 20 à 30 centimètres, donc par le développement des lignes téléphoniques on arrivera à des chevalets énormes, surtout lorsqu'il y en aura supportant 400 à 500 fils. Il y aurait lieu soit de rapprocher ces fils, soit de recourir à des métaux plus légers. M. Bède dit avoir employé des fils de bronze phosphoreux de $\frac{6}{10}$ de

millimètre de diamètre. Ils ont plusieurs avantages : ils évitent l'emploi de sourdine, car la tension qu'ils possèdent peut devenir très faible. M. Hughes a fait remarquer que les fils aériens causent un danger réel dans le cas de leur rupture; mais M. Bède dit que, quand on emploie un fil élastique, dès qu'il y a rupture, l'élasticité le fait boucler entièrement avant qu'il soit descendu à 4 mètres de sa position primitive.

Maintenant, les fils d'acier, à 25 centimètres de distance et garnis de sourdines, constituent d'excellentes lignes. Plus tard, on pourra employer des lignes souterraines; mais l'induction sera une difficulté qui pourra, il est vrai, être levée par l'emploi de câbles à fil unique, si la question d'argent ne s'y oppose pas. M. Bède ne croit pas qu'aucune industrie se trouve dotée d'une pareille richesse d'appareils tous très bons. La science et l'industrie ont tout fait, et cela en moins de cinq ans. Il serait bon que le Congrès, considérant que la science et l'industrie sont en mesure de satisfaire aux besoins du public, émît le vœu que les gouvernements facilitent l'établissement des lignes téléphoniques.

M. du Moncel (France). Quel est le rôle de l'induction dans l'installation des lignes téléphoniques? Il y a des gens qui prétendent que cette induction n'existe pas. Il faudrait des fils très rapprochés pour que cet effet se produisît, et à 10 centimètres il n'est pas notable. On attribue ces phénomènes à des dérivations entre le fil et le sol. Il rappelle que M. Glœssener avait construit des appareils tellement sensibles, que deux plaques de terre placées dans le voisinage donnaient les dépêches par dérivation. M. du Moncel demande que le Congrès examine la question de l'induction.

M. Lartigue. C'est à titre d'homme pratique que j'essayerai d'expliquer ce phénomène. Il n est pas discutable que l'induction joue un rôle, puisque, lorsqu'on n'emploie pas un fil de retour, l'induction augmente. M. Lartigue, à cette occasion, remercie M. le Ministre et M. Caël, qui ont contribué si puissamment à l'établissement des lignes téléphoniques. M. Lartigue cite l'expérience qu'il a faite avec un câble entre la Villette et le Bureau central des téléphones. Le câble était composé d'une âme en cuivre, d'une couche de gutta-percha, d'un guipage de coton, et était armé d'un fil de fer d'un millimètre, galvanisé, enroulé en spirale. Deux appareils téléphoniques étaient reliés à la terre, et l'on entendait distinctement dans les deux. On a cru tout d'abord à un effet de condensation. En écartant les deux appareils de façon qu'un seul fil fût en communication avec le téléphone, tout bruit disparaissait. On a supprimé la communication avec l'armature métallique, et le bruit disparaissait encore. Dans les villes de

province, M. Lartigue a donné des instructions pour faire communiquer les armatures entre elles et avec la terre.

Pour supprimer l'induction d'une façon complète, M. Lartigue emploie deux fils, l'un d'aller, l'autre de retour. Cette disposition a été adoptée pour l'installation du palais de l'Industrie, et, quoique les fils soient voisins d'autres traversés par des courants énergiques, on ne constate pas d'effet d'induction.

M. du Moncel. Il n'est pas douteux que l'induction a lieu lorsque les fils sont trop rapprochés; cependant on donne trop d'importance à l'induction; à la distance ordinaire des fils télégraphiques, il n'y a pas de perturbations dues à cette cause.

M. du Moncel admet le système à doubles fils pour les réseaux souterrains établis dans des espaces restreints, dans lesquels nécessairement les fils sont très rapprochés.

M. Lartigue donne au tableau les détails de son expérience.

M. Weber (Suisse) a entendu une dépêche avec des fils espacés de cent mètres.

M. du Moncel demande si ce n'est pas le sol qui en est la cause?

M. Webber (Grande-Bretagne). M. Bède a décrit la grande importance de cette question. Les mêmes questions sont applicables aux lignes télégraphiques et téléphoniques. Mais, lorsqu'une ligne téléphonique se trouve voisine d'une ligne télégraphique, la question change. Il ne pense pas que, sans fil de retour, on puisse parer aux inconvénients de l'induction. Pour les lignes téléphoniques, M. Graaws a toujours employé les circuits doubles. Aux États-Unis, le public est habitué à distinguer les mots articulés au milieu du brouhaha des lignes voisines. Malgré cet orage de voix, tout le monde se déclare satisfait. A Londres, tous les cent mètres, on met l'armature du fil en communication à la terre.

M. Webber donne ensuite quelques chiffres relatifs au nombre d'abonnés au téléphone dans la ville de Londres, et au coût de l'entretien des lignes et des stations.

Pour empêcher d'autres difficultés, il croit qu'un fil de cuivre très fin est nécessaire, et qu'il faut placer au-dessus des maisons des isolateurs en porcelaine. M. Webber dit quelques mots sur l'emplacement le plus convenable des stations. En dix ans, à Londres, la rupture des fils a causé la mort de trois personnes. La municipalité de Manchester oblige à rendre souterraines les lignes téléphoniques. M. Webber demande :

1° Ainsi que M. Bède, que la section émette le vœu que les gouvernements encouragent l'extension des communications téléphoniques;

2° Que les lignes téléphoniques soient attachées aux maisons à l'aide de fils et d'isolateurs plus petits que ceux employés pour les lignes télégraphiques;

3° Que le nombre d'abonnés sur chaque commutateur ne dépasse pas cinq cents, et qu'au delà on établisse une nouvelle station téléphonique, et, que, pour obvier à la perte de temps, les appels par noms soient remplacés par les appels par numéros.

M. Elsasser (Allemagne) répond à la question de M. du Moncel, et donne un exemple d'un cas particulier de communication par induction, d'un télégraphe Morse et d'un téléphone, qui se serait passé à Berlin.

M. Hughes (Grande-Bretagne), de son côté, en réponse à M. du Moncel, qui croit que l'induction pourrait n'être qu'un simple effet de dérivation, rappelle qu'avec ses appareils, dont les électro-aimants sont très sensibles, ce trouble existait sur toutes les lignes. M. Bergon, qui faisait partie de la Commission, doit s'en souvenir. En travaillant avec un appareil, il y avait toujours induction dans l'appareil voisin. Le meilleur mode de correction était l'emploi d'un électro-aimant, à armature fermée, intercalé dans la ligne. Mais cet électro-aimant détruisait aussi la sensibilité de l'appareil. L'orateur a étudié de nouveau cette question, et les résultats ont été publiés dans le *Telegraphic Journal.*

M. Raynaud (France). Pour un télégraphiste, il ne peut pas y avoir confusion entre l'induction et les courants dérivés. Car l'induction donne un courant direct et un courant inverse. Ce fait peut toujours être vérifié avec un récepteur polarisé. En 1868, M. Raynaud a fait des expériences à Marseille avec des appareils Hughes, et le galvanomètre accusait par sa déviation constante le passage du courant dérivé, mais il oscillait à droite et à gauche, en vertu des courants induits. M. Raynaud établit les différences dans un câble entre l'induction électro-statique de laquelle on peut se préserver avec l'armature à la terre, et l'induction dynamique, qui est indépendante de la longueur de la ligne, tandis que la charge statique induite est proportionnelle au carré de la longueur. Pour les câbles souterrains, on évite cette charge par l'emploi d'un ruban métallique mis à la terre. M. Raynaud cite le cas d'un câble et d'un fil qui, à Brest, sont influencés par l'induction électro-dynamique, quoique les deux conducteurs soient éloignés de cinq mètres.

M. le Président donne lecture du vœu émis par M. Bède, et qui est ainsi conçu :

« Le Congrès, considérant que la science et l'industrie offrent, dès maintenant, toutes les ressources désirables pour un développement consi-

dérable des communications téléphoniques, émet le vœu que les gouvernements s'empressent de prendre les mesures nécessaires pour favoriser ce développement. »

Ce vœu est adopté par la Section, mais un petit nombre de membres prennent part à ce vote.

La séance est levée à quatre heures. La prochaine séance est fixée au mardi 27 septembre, à dix heures.

SIXIÈME SÉANCE

27 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. MILITZER

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à dix heures.

M. ORDUNA (Espagne), *secrétaire*, lit une note de M. Preece faisant connaître les difficultés qui se sont présentées en Angleterre lorsqu'on a essayé d'employer un seul fil pour chaque transmission téléphonique. La transmission était rendue impossible lorsque, dans un fil voisin, passait une dépêche envoyée par un appareil Wheatstone, par exemple; et dans le cas de deux fils téléphoniques voisins, on entendait dans un appareil les conversations qui avaient lieu par l'autre fil. Ces effets sont dus à l'induction électro-statique, à l'induction électro-magnétique, et aussi aux dérivations qui se produisaient, surtout dans le cas de *mauvaise terre*.

On a cherché, pour les lignes souterraines, à éviter les effets d'induction, soit en couvrant les fils d'une lame de plomb, mise en communication avec la terre, ce qui supprimait l'induction électro-statique, soit en couvrant les câbles d'une enveloppe en fils de fer, ce qui supprimait l'induction électro-magnétique; mais ces systèmes étaient trop coûteux, et l'on se décida à employer dans chaque cas un fil de retour.

Dans le cas des fils souterrains, les deux fils sont assez voisins pour que toutes les actions extérieures s'équilibrent, sans qu'il ait paru nécessaire d'enrouler les deux fils l'un sur l'autre.

Pour les lignes aériennes, l'induction électro-statique est minima, tandis que l'induction électro-magnétique est maxima. On a employé avec grand avantage la disposition indiquée par M. le professeur Hughes, qui consiste à disposer les fils, sur les supports des poteaux, de telle sorte que deux brins ne soient pas parallèles entre deux poteaux; les brins sont alors tendus diagonalement d'un support à l'autre, de manière à affecter une

disposition qui rappelle celle d'une hélice; les différents fils tournant ainsi dans le même sens et de la même quantité entre deux poteaux.

Il est évident que cette disposition ne produit tout son effet que si le circuit est double et complet par les fils mêmes, car il ne saurait annuler la *mauvaise terre.*

M. Boussac (France) lit les procès-verbaux des quatrième et cinquième séances de la Commission des lignes télégraphiques. La Commission propose à la Section de présenter les vœux suivants à la prochaine séance plénière :

1° Pour compléter un vœu émis par la Commission et déjà voté à l'unanimité par le Congrès, il sera entendu que, pour les fils recouverts et les câbles, toutes les mesures d'épaisseur seront également exprimées en millimètres et fractions de millimètre, à l'exclusion de toute indication de jauge.

Ainsi que le fait remarquer M. Raynaud, ce vœu n'amènera peut-être pas une uniformité aussi complète qu'on pourrait le désirer, car, dans les cahiers des charges, les quantités de métal ou de substance isolante sont généralement indiquées par le poids (kilogramme, livre, etc.), par unité de longueur (kilomètre, mille, etc.), et ce serait sur ces unités qu'il faudrait faire porter l'uniformité, ce qui est impossible à espérer quant à présent.

Les avantages résultant de l'adoption de ce vœu n'en seront pas moins sensibles, et l'assemblée l'accepte par un vote unanime.

2° Il est vivement à désirer que, dans les pays possédant par eux-mêmes ou par leurs colonies des arbres à gutta-percha, des mesures soient prises pour la conservation de ces arbres et pour leur bonne exploitation.

La Section, tout en reconnaissant les difficultés pratiques que peut présenter l'application de ce vœu, le vote à l'unanimité, espérant que l'expression de ce souhait pourra amener directement ou indirectement une amélioration à une situation qui peut devenir très fâcheuse, car, avec le mode d'exploitation en usage, il est à craindre que d'ici à trente ans la production de la gutta-percha soit presque nulle.

M. Mercadier (France) présente le rapport fait au nom de la Commission chargée d'étudier la question de la substitution des machines aux piles pour la télégraphie électrique. Il rappelle les indications qui ont été fournies dans une précédente séance, et fait connaître les dispositions adoptées aux Indes et en Amérique par M. Schwœndler et par la *Western Union Company.* La question ne paraît pas résolue, faute de données suffisantes; cependant il semble que les résultats obtenus ont été satisfaisants, princi-

palement en ce que cette substitution diminue beaucoup l'espace occupé par les générateurs électriques. Elle ne paraît avantageuse que si la machine est affectée à un autre service, auquel vient s'adjoindre celui des lignes télégraphiques; la force nécessitée par ces dernières est très faible; en effet, M. Mercadier a calculé qu'un courant de 1 ampère suffirait à l'exploitation régulière de plus de cent lignes aussi étendues que celle de Paris à Marseille. L'inconvénient, c'est la crainte justifiée que ces courants qui sont, non pas continus, mais périodiques, ne puissent être appliqués aux appareils à grande vitesse, par exemple à ceux de Hughes, Baudot, Wheatstone, etc., avec lesquels il ne semble pas qu'ils aient été essayés.

Dans ces conditions, la Commission croit devoir se borner à exprimer le vif désir que des expériences sur ce sujet soient faites, en même temps qu'on vérifiera, par des mesures précises, la constance des courants employés dans les grands bureaux télégraphiques où s'impose, actuellement, l'emploi de la lumière électrique, et par suite des puissantes machines, nécessaires pour sa production.

L'assemblée adopte ce vœu, qui sera soumis à l'approbation du Congrès réuni en séance plénière.

(Voir Annexe I, page 298).

Sur la proposition de plusieurs membres, la discussion s'ouvre sur la *construction des lignes téléphoniques.*

M. Bède (Belgique) revient sur la question de l'emploi du bronze phosphoreux, dont il n'a été parlé jusqu'à présent que d'une manière sommaire. Il dit que les résultats qu'il a obtenus, en employant cette substance sur une grande échelle, sont très favorables.

Les fils de bronze phosphoreux de $1^{mm},5$ présentent toute garantie; mais ils sont trop chers, le bronze phosphoreux coûtant encore 4 francs le kilogramme. Pour que le prix ne diffère que peu de celui d'un fil d'acier de 2 millimètres, il faut prendre un fil de bronze de $0^{mm},8$. Ces derniers fils sont très bons et font un excellent usage à Gand, où ils sont presque exclusivement employés. Ils sont d'ailleurs peu visibles, ne produisent que des bruits très faibles, chargent peu les chevalets, se tendent facilement.

Après être entré dans quelques détails relativement à la pose des fils téléphoniques, M. Bède compare le prix d'un fil de bronze phosphoreux d'un diamètre de $1^{mm},25$, tel qu'il est employé en Italie, et d'un fil d'acier de 2 millimètres : les poids sont respectivement de 11 kilogrammes et de 27 kilogrammes, et les prix de 44 francs et de 18 fr. 80. La différence paraît considérable ; on ne doit pas conclure trop vite contre le bronze,

car il faut remarquer que le kilomètre de fil téléphonique *tout posé* revient en moyenne à 250 francs, et, vu la plus grande facilité de pose des fils de bronze, il est possible qu'au total le coût soit équivalent.

La question de la grande élasticité du bronze est importante, car c'est à cette propriété qu'il faut attribuer le fait que, en cas de rupture, les fils remontent en s'enroulant sans jamais atteindre le sol.

En réponse à diverses questions, M. Bède fait remarquer que les qualités électriques et mécaniques du bronze phosphoreux dépendent non seulement de la composition chimique, mais aussi du recuit; on s'occupe, du reste, activement, d'obtenir la constance de cette propriété, car le recuit augmente la conductibilité en même temps qu'il diminue la ténacité. M. Bède fait observer que s'il compare, comme prix du bronze et de l'acier, des fils de diamètres différents, $1^{mm},25$ et 2 millimètres, c'est que l'acier s'oxyde et que, à la longue, son diamètre décroît, tandis que le bronze reste inattaqué.

Aucune observation n'étant faite sur cette question, la discussion est déclarée close.

L'ordre du jour appelle la discussion sur la question suivante :

Application de l'électricité au service de la sécurité des chemins de fer. Comparaison du système de signaux automatiques et mixtes.

Sur la proposition de plusieurs membres, la discussion de cette question est renvoyée à la prochaine séance de la section.

M. VAN RYSSELBERGHE (Belgique) donne quelques explications techniques sur la question de l'établissement d'une ligne météorologique internationale qui serait destinée à transmettre directement à très grande distance les observations météorologiques à l'aide de son télémétéorographe enregistreur. Il donne une indication rapide de la disposition qu'il a adoptée, et qui fonctionne régulièrement entre Bruxelles et Paris. Il désirerait savoir si quelques membres voient un empêchement à la transmission à grande distance dans les conditions qu'il indique.

Aucune objection n'étant faite, M. van Rysselberghe indique qu'il pense que l'adoption de son projet pour la partie nord-ouest de l'Europe, la plus importante au point de vue météorologique, exigerait l'établissement de 12,000 kilomètres de fils, dont le prix ne devrait pas dépasser 1,200,000 francs. Il estime, d'autre part, à 900 francs par jour, pour cette région, la dépense correspondant actuellement à l'envoi des dépêches, dont les divers observatoires font l'échange, dépêches qui sont insuffisantes au point de vue météorologique. Pour une durée de vingt ans, durée après

laquelle il serait nécessaire de renouveler la ligne, la dépense, d'après le système actuel, dépassera 6 millions; d'autre part, le nouveau système qu'il propose d'établir déchargerait d'autant les lignes actuelles, ce qui serait certainement avantageux.

La séance est levée à onze heures trente-cinq. La prochaine séance est fixée au mercredi 28 septembre, neuf heures et demie.

ANNEXE I

RAPPORT SUR LA QUESTION

DE LA SUBSTITUTION DES MACHINES ÉLECTRIQUES AUX PILES

Commission de la deuxième Section du Congrès : MM. Brix, Baron, Deprez, Hughes, du Moncel, Mercadier.

La proposition de substituer aux piles les machines, dites magnéto ou dynamo-électriques, pour les transmissions télégraphiques, n'est pas nouvelle. Déjà vers 1866, en France, M. Bouchotte avait voulu faire un essai de ce genre ; mais les machines étaient alors trop imparfaites pour qu'il eût quelques chances d'aboutir.

La question a pu être reprise, il y a quelques années, de divers côtés et la substitution dont il s'agit, expérimentée avec succès par M. Schwendler sur les lignes télégraphiques de l'Inde, a été réalisée par la *Western Union Telegraph Company* à New-York, il y a deux ans environ.

Dans les expériences de M. Schwendler, à Calcutta, l'essai a été fait avec une machine Siemens de moyenne grandeur, dépensant 3 chevaux et dont l'un des pôles est mis à la terre; l'autre pôle était relié aux onze lignes qu'il s'agissait de desservir, séparément ou simultanément, et dont la longueur variait de 363 à 1,472 kilomètres. Mais les lignes étaient placées en dérivation sur un circuit principal dans lequel se trouvait, soit une résistance très faible d'un ohm et demi environ, soit une lampe électrique.

La conclusion de M. Schwendler est, qu'on pourrait ainsi, à l'aide d'une machine convenable : accomplir pendant le jour un travail mécanique, produire pendant la nuit la lumière électrique, et, en même temps, à l'aide d'une dérivation prise sur le circuit, desservir les lignes télégraphiques aboutissant à une station centrale.

La *Western Union* a résolu le problème d'une autre manière et plus complètement, car elle dessert un nombre considérable de fils de longueurs extrêmement différentes, ce qui est le cas ordinaire d'une exploitation télégraphique.

Elle a utilisé les moteurs à vapeur, dont elle a besoin d'ailleurs pour faire mouvoir divers engins mécaniques, des ascenseurs par exemple, à animer une machine dynamo-électrique de Siemens ; celle-ci excite les inducteurs de plusieurs machines semblables disposées en tension ; puis, aux divers points de cette chaîne de machines, dont une extrémité est à la terre, on relie les lignes à desservir en les groupant de façon à réunir, dans un même groupe, les lignes de résistances à peu près égales et en les égalisant d'ailleurs complètement à l'aide de bobines auxiliaires.

Si l'on songe à la faiblesse extrême des courants, utilisés en télégraphie, comparés à ceux qui sont nécessaires pour effectuer des travaux mécaniques, on conçoit qu'on puisse en effet distraire, en quelque sorte, d'une machine dynamo-électrique, pour desservir un grand nombre de circuits télégraphiques, une minime quantité d'énergie sans l'empêcher d'accomplir ses autres fonctions.

Cependant on a quelque peine à se figurer qu'on puisse ne pas altérer sensiblement le régime d'une machine, exécutant plusieurs travaux, lorsqu'on fait varier considérablement, ou qu'on arrête même complètement plusieurs d'entre eux ; et c'est une condition à laquelle on doit satisfaire en télégraphie, où l'on doit pouvoir, sans inconvénients, travailler à la fois sur tous les circuits ou seulement sur quelques-uns.

A ce point de vue, la solution de la question actuelle se rattache intimement à celle de la transmission générale de la force à distance par l'électricité.

Plusieurs systèmes réalisant cette transmission sont actuellement exposés au palais de l'Exposition, et nous avons appris qu'il y en avait d'autres à l'état de projet. L'un des membres de la Commission, M. Deprez, nous a exposé son système, et nous l'avons vu fonctionner dans la nef du palais. Il démontre que, par suite d'un accouplement spécial de deux machines dynamo-électriques [1], on peut obtenir, aux deux bornes de la double machine, une différence de potentiel sensiblement constante, malgré des variations considérables dans la nature d'un circuit extérieur de plusieurs kilomètres de longueur.

Un tel système semble donc parfaitement applicable à la télégraphie.

Cependant un autre membre de la Commission, M. Hughes, a fait observer que les courants des machines, dites *à courant continu*, ne sont pas absolument continus ; en réalité, ils sont périodiques à cause de la manière même dont ils sont produits et recueillis. Bien que la période puisse être rendue très petite et facilement rendue égale à $\frac{1}{500}$ de seconde, on peut se demander si un pareil système de courants ferait fonctionner avec autant de sécurité qu'une pile ordinaire, des appareils délicats, à grande vitesse, à synchronisme, tels que les Hughes, les Wheatstone, les Baudot, etc.

A cet égard, l'expérience de la Western-Union ne saurait être complètement démonstrative, car la plus grande partie des lignes qu'elle dessert fonctionnent à courant continu, et seulement avec des relais actionnant, à l'aide de piles locales, des récepteurs très simples, où la lecture des signaux se fait à l'oreille.

Il nous a paru, dès lors, que l'objection était assez sérieuse pour qu'on ne pût se prononcer définitivement sur ce sujet, qu'après des expériences faites dans des conditions où on ne les a pas encore tentées, et sur les appareils délicats dont on se sert en France et dans plusieurs autres pays.

La Commission croit donc devoir se borner, dans l'état actuel de la question,

1. Fondé sur des théorèmes nouveaux.

à exprimer vivement le désir que des expériences de ce genre, qu'elle considère comme très intéressantes et très utiles, soient instituées [1]. On pourrait les effectuer aisément dans les grands bureaux télégraphiques, où s'impose actuellement l'emploi de la lumière électrique et par suite de puissantes machines nécessaires pour sa production.

1. En ayant soin de vérifier par des mesures précises la constance des courants employés.

SEPTIÈME SÉANCE

28 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. MILITZER

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à neuf heures quarante-cinq minutes.

M. ORDUÑA (Espagne), *secrétaire,* donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, qui est adopté.

M. LE PRÉSIDENT propose de passer à la discussion des questions relatives à l'application de l'électricité au service de sécurité des chemins de fer et à la comparaison des systèmes de signaux automatiques et mixtes.

M. DE ROUTKOWSKY (Russie), en rappelant les travaux du Congrès relatifs à la météorologie et aux paratonnerres, fait remarquer que le Congrès ne s'est pas seulement attaché à étudier les questions concernant la science pure, mais aussi celles relatives à la science appliquée, c'est-à-dire les applications de l'électricité à la sécurité des voies de communication, chemins de fer, routes maritimes, etc. Pour lui, les principaux moyens propres à garantir la sécurité de l'exploitation des chemins de fer seraient:

1° Le *block system;*

2° L'*interlocking system,* ou système caractérisé par une liaison mécanique entre les signaux et les aiguilles ;

3° Les freins puissants et automatiques.

Lorsque les gouvernements invitent les administrations de chemins de fer à adopter quelques perfectionnements, elles répondent qu'elles seraient prêtes à les introduire, mais qu'il n'existe pas de systèmes d'appareils assez complets, que l'électricité est un agent encore très incertain, et qu'on ne peut compter sur elle dans l'exploitation. L'Exposition, avec les applications qu'on y rencontre, permet de contester la vérité de ces assertions, et, si le Congrès, avec sa haute compétence, émet l'avis que l'on peut compter d'une façon certaine sur l'électricité dans ses applications aux chemins de

fer, les objections tomberont d'elles-mêmes. Quelle que soit l'autorité d'un gouvernement, il lui est très difficile d'obtenir un résultat, comme le prouve l'exemple de l'Angleterre, et peut-être de la France. Il termine en disant qu'une déclaration du Congrès, dans le sens indiqué, donnerait aux gouvernements un puissant appui.

M. Lartigue (France) répond que la proposition de M. de Routkowsky ne pourrait être résolue par un congrès d'électriciens, mais bien par une assemblée d'hommes spéciaux. Les gouvernements ne peuvent que recommander des systèmes, sans les imposer; sinon ils dégageraient la responsabilité des compagnies.

Les ingénieurs de chemins de fer témoignent à l'égard de l'électricité une défiance qui n'a rien de fondé, car elle est un agent très sûr et excellent pour qui sait s'en servir. Ils font aussi une deuxième objection: si l'on donne aux agents des appareils trop parfaits, leur surveillance sera moins active. Telle n'est cependant pas l'opinion du capitaine Taylor, une des personnes les plus expertes dans la matière.

On affecte de ne pas s'occuper des appareils électriques, qu'on accuse toujours de ne pas bien fonctionner. L'intervention du Congrès aurait une utilité : elle convaincrait le personnel supérieur des chemins de fer que l'électricité est désormais un agent sérieux et sûr.

Il termine en énonçant les quatre règles de Clarke.

1° Les signaux doivent être simples;

2° Peu nombreux;

3° Ils ne doivent pas nécessiter un effort de mémoire de la part des agents ;

4° Les dérangements des appareils ne doivent pas pouvoir mettre en danger la sécurité des voyageurs.

M. Flamache (Belgique) répond que si l'électricité n'a pas reçu d'applications plus nombreuses, cela tient aux électriciens, dont les systèmes ne se pliaient pas à tous les besoins d'une bonne exploitation. Il décrit sommairement le *block system* avec les différents moyens employés pour le réaliser : système anglais, système automatique, système à sections dépendantes.

Il ajoute que, indépendamment des conditions énumérées par M. Lartigue, il y a lieu de tenir compte des dérangements occasionnés par l'électricité atmosphérique, et il propose de compléter ce qu'a dit M. Lartigue par les deux propositions suivantes :

1° L'agent doit être rappelé à l'ordre, s'il fait une faute, par un signal quelconque ;

2° Aucune manœuvre automatique ou à distance ne doit pouvoir être faite sans que l'intelligence d'un agent la contrôle.

M. Lartigue répond qu'il n'a pas voulu dire autre chose. L'Exposition, en mettant en évidence les résultats obtenus, donnera confiance aux ingénieurs qui, jusqu'à ce jour, avaient résisté à l'emploi de l'électricité.

On a émis en Angleterre l'opinion que le *block system* gênait l'exploitation en nécessitant l'intervention de deux agents. Cela paraît difficile à admettre, car, pour avoir des appareils donnant une sécurité égale, il faudrait au moins ce même nombre d'agents. Quant à l'électricité atmosphérique, la quatrième condition de Clarke en prévoit les effets.

M. le lieutenant Anstruther (Grande-Bretagne) donne communication des appareils imaginés par M. Spagnoletti, et employés sur la *Great Western Company*. Le plus important est celui qu'on utilise pour le *block system*, dont un type est exposé à la section anglaise et sera prochainement adopté sur la ligne souterraine du Métropolitain de Londres.

Après un échange d'observations entre MM. Flamache, de Routkowsky, Lartigue et Jousselin, les propositions suivantes sont déposées entre les mains de M. le Président, qui en donne lecture.

Proposition de M. de Routkowsky :

« La Section émet l'opinion qu'en l'état actuel de la science on peut considérer l'électricité comme un auxiliaire très efficace, et même indispensable dans plusieurs branches de l'exploitation des chemins de fer. »

Propositions de M. Flamache :

1° Les appareils doivent être construits de façon que l'électricité atmosphérique ne puisse produire que le signal *danger;*

2° L'appareil doit empêcher mécaniquement l'agent de faire une fausse manœuvre;

3° L'intelligence de l'agent doit pouvoir contrôler les signaux faits automatiquement ou à distance.

M. Lartigue fait remarquer que les propositions de M. Flamache sont applicables à tous les signaux, électriques ou non, et que la question est en dehors de la compétence du congrès.

M. le Président appuie cette opinion.

M. Belpaire (Belgique) dit que l'électricité est tellement indispensable à l'exploitation des chemins de fer, qu'il est oiseux d'émettre un vœu à ce sujet.

M. le colonel Webber (Grande-Bretagne) fait remarquer qu'en Angleterre on a reconnu depuis longtemps que l'électricité est indispensable à l'exploitation des chemins de fer.

M. de Routkowsky dit que certains États s'opposent à l'application des appareils électriques sur les chemins de fer, et n'en veulent à aucun prix.

M. Belpaire fait observer que, pour les nations qui n'emploient pas l'électricité, un vote négatif du Congrès aura beaucoup d'influence.

Après diverses observations échangées entre les membres de la deuxième section, M. Flamache dépose la proposition suivante :

« En présence des services rendus jusqu'ici par l'électricité à l'exploitation des chemins de fer, la deuxième section du Congrès trouve oiseux d'émettre un vœu à ce sujet. »

M. Mercadier (France) dit que la conclusion de la discussion doit être celle-ci : « L'utilité de l'électricité est tellement évidente, qu'il n'y a pas lieu de formuler un vœu ni de voter sur cette question. »

Cette conclusion est adoptée.

M. le Président, en déclarant terminés les travaux de la troisième section, exprime sa reconnaissance à tous les savants qui ont voulu mettre à la disposition de la Section leur savoir théorique et pratique. Les résultats de leurs discussions ne resteront pas sans effet utile; elles donneront un nouvel élan à l'extension des communications télégraphiques.

La séance est levée à onze heures trente-cinq minutes.

COMMISSION DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES

PREMIÈRE SÉANCE

19 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. BERGON

La séance est ouverte à dix heures.

Sont nommés : *Président :* M. Bergon ; *Secrétaires :* MM. Boussac et Rothen.

M. le Président rappelle que la Commission doit s'occuper des meilleures conditions d'établissement des trois espèces de lignes : aérienne, souterraine et sous-marine, mais qu'avant d'entrer dans l'examen spécial de chaque catégorie, il y aurait peut-être lieu d'ouvrir une discussion générale.

M. Nyström (Suède) fait observer que le sujet est très vaste, qu'il faudrait plusieurs mois pour une discussion approfondie, et qu'à son avis il conviendrait de limiter le sujet en procédant par simples questions posées à la Commission.

M. le Président, après avoir constaté la nécessité d'une uniformité dans les mesures, afin de pouvoir comparer utilement les objets de matériel en usage dans les divers pays, et après avoir reconnu que c'était une question d'unités se reproduisant d'une manière générale et devant faire l'objet d'un examen spécial, pense que la Commission doit tout d'abord examiner les questions qui touchent à la construction même, et que celles relatives aux unités se présenteront plus complètement lorsque les éléments de chaque espèce de ligne auront été discutés. Il propose, en conséquence, de commencer par l'examen successif des divers éléments dont se compose une ligne aérienne : isolateurs, poteaux et fils :

En ce qui concerne l'isolateur, quelle est la meilleure matière et la meilleure forme ?

Il résulte des observations faites à ce sujet par MM. Banneux, Boussac, Nyström, Richard et Bergon que la meilleure matière pour les isolateurs est la porcelaine, telle qu'elle est employée par les administrations télégraphiques, et la meilleure forme, celle à double cloche.

Quant à l'isolement, il est difficile de donner des indications précises. On peut, il est vrai, exiger qu'un isolateur neuf soit absolument dépourvu de toute conductibilité ; mais, dès qu'il a été mis en service, la conductibilité superficielle varie selon les circonstances extérieures et selon son temps de service.

M. Nyström pense que, dans cette question, il faudrait tenir compte de la longueur de la ligne qui influe sur le degré d'isolement, et adopter des dispositions susceptibles de faire arriver dans les bureaux la même proportion de courant. A cet effet, il y aurait lieu de déterminer le chiffre *minimum d'isolement* nécessaire pour que la ligne fonctionne suffisamment bien ; pour cela, on pourrait procéder ainsi qu'il suit : le *minimum cherché* s'obtiendrait en faisant le quotient de la résistance trouvée expérimentalement (l'extrémité de la ligne étant isolée), par la résistance du fil lui-même. Dans ces conditions, pour arriver au résultat cherché, ce quotient devrait être 1 pour les grandes lignes, 1,5 pour les lignes au-dessous de 500 kilomètres, et 2 pour les lignes omnibus.

La question devrait être étudiée dans les divers pays.

M. le Président pense que cette proposition pourra être soumise à la Section, mais que la Commission n'a qu'à se préoccuper pour le moment de rechercher quel est le *meilleur isolateur*.

M. Banneux (Belgique) fait connaître qu'en Belgique on emploie sur les longues lignes des isolateurs à double cloche, dont la cloche intérieure est en ébonite. Quand l'isolateur est neuf, la surface est très lisse et polie ; mais avec le temps cette qualité se perd, et la surface, devenant rugueuse, devient par ce fait hygrométrique.

Sir Charles Bright (Grande-Bretagne) donne quelques renseignements sur l'isolateur Brooks, renseignements qui sont complétés par des observations de M. Banneux. Il en résulte que cet isolateur, quand il est neuf, donne, comme les autres, de bons résultats, mais qu'il présente un inconvénient grave en ce que sa forme exclut tout nettoyage.

A ce sujet, la Commission discute la question de la poussière qui s'accumule sur les isolateurs. M. Banneux dit qu'il a constaté, dans la couche qui recouvre les isolateurs sales, l'existence du fer, surtout sur les

lignes longeant les railways. Cette poussière tendrait à augmenter la conductibilité superficielle des isolateurs. MM. Bergon et Nyström disent que le corps métallique ne forme pas une couche continue, et que, tant que l'isolateur est sec, la conductibilité de cette poussière est nulle.

MM. Banneux, Boussac et Rothen prennent ensuite successivement la parole sur les divers procédés en usage pour le nettoyage des isolateurs. Cette mesure est reconnue bonne, mais elle n'est pas encore introduite partout. Ainsi, en France, on lave les isolateurs deux fois par an sur les lignes principales ; en Suisse, chaque mois, dans les tunnels; dans les gares, tous les trois mois ; en Suède, le lavage se fait quand cela est reconnu nécessaire. Il en est de même en Belgique.

M. le Président demande aux membres de la Commission leur opinion sur les modes de jonction des couronnes de fils ? Il expose en même temps le système des manchons à soudures de M. Baron, qui est exclusivement adopté en France. Les avantages sont que la jonction est très solide et qu'il y a continuité métallique. Dans les autres pays, on emploie principalement le joint Britannia ou la torsade soudée.

M. Baron considérerait comme très utile qu'il fût fait des expériences périodiques de mesure sur les lignes internationales, et qu'une entente pût s'établir entre les divers pays.

La Commission reconnaît les avantages que présenterait cette mesure, et elle émet le vœu que la question soit soumise à la Section.

M. le Président déclare examinée la question des isolateurs, et propose d'étudier celle des poteaux. Il ajoute que probablement sous ce rapport on sera d'accord pour adopter les bois de pin et de sapin injectés ou créosotés.

M. Banneux fait l'historique des poteaux employés en Belgique.

Dès le début, on a fait usage de poteaux sans préparation. On a ensuite injecté au sulfate de cuivre, par le procédé de simple absorption. Des poteaux de petite dimension, ainsi préparés en 1852, sont encore dans un état de conservation parfaite. La même durée a été observée en France pour des bois préparés à la même époque et de la même manière. L'usage de poteaux de dimensions plus grandes devenant nécessaire, on eut recours au procédé Boucherie par filtration et pression ; les poteaux ainsi préparés ont une durée de quinze ans. On a également préparé des poteaux en les injectant de sulfate de cuivre en vase clos et sous pression. Aujourd'hui, on a remplacé le sulfate de cuivre par les huiles lourdes créosotées. L'injection se fait par l'appareil Bethell, à raison de 250 litres par mètre cube. On fait, pendant environ une heure, le vide, et l'on donne

une pression de 6 à 7 atmosphères pendant deux heures. Les poteaux ainsi préparés, durant jusqu'à vingt ans, on les a exclusivement adoptés.

En Belgique, les poteaux préparés au sulfate de cuivre étaient fournis en dernier lieu par adjudication, et le contrôle n'en était peut-être pas absolument efficace ; les préparations à la créosote se font, au contraire, sous la surveillance permanente des agents de l'État. Cette circonstance peut expliquer jusqu'à un certain point l'avantage que paraît présenter l'emploi de la créosote sur le sulfate de cuivre.

D'un échange d'observations qui a lieu à ce sujet entre MM. Bergon, Banneux, Graves et Boussac, il résulte que les inconvénients de la créosote, au point de vue de la santé des ouvriers, ne sont pas tels qu'il y ait lieu de rejeter ce mode de préparation ; que les poteaux préparés à la créosote coûtent, dans certains pays, moins cher que ceux injectés au sulfate de cuivre ; que le bois devient à peu près aussi cassant par l'un et l'autre procédé, et que, si la créosote rend le bois inflammable, c'est un inconvénient peu grave en raison du peu de chances d'incendie sur les lignes télégraphiques. Toutefois, il convient d'observer que la préparation à la créosote exige que les bois soient préalablement desséchés.

M. le Président demande s'il y a lieu de prendre, à l'égard du sommet des poteaux, des mesures de conservation particulières, telles que peinture, chapeau métallique, etc.

M. Banneux est d'avis qu'il suffit, en pratique, d'apointisser le sommet du poteau en cône, sans recourir à aucun moyen spécial de préservation.

M. le Président pose la question suivante : *S'il y a plusieurs fils sur des poteaux, faut-il employer des poteaux à potence ou des poteaux doubles ?*

Des observations sont faites en réponse à cette question par MM. Nyström, Graves, Bergon, Banneux et Boussac. Il en résulte : qu'en Suède on place sur des poteaux simples seize fils, et même davantage sur les lignes voisines des bureaux où les fils font retour sur les mêmes poteaux, et treize fils sur certaines autres lignes ; l'intervalle qui sépare les fils étant de 30 centimètres ; — qu'en Angleterre, on place les fils sur des traverses horizontales distantes de 33 centimètres (le dernier fil étant à 4 mètres du sol sur les chemins de fer, et à 6 mètres sur les routes), et que l'emploi de ces traverses ne paraît pas compromettre la solidité de l'appui ; — qu'en Belgique, les fils sont distants de 30 à 40 centimètres, et en France de 50 centimètres ; — enfin que, dans les divers pays, on place dans les points d'angle des accouplements de poteaux avec boulons et croix de Saint-André au sommet et croisillons à la partie inférieure, sauf en France,

où l'on construit aussi des lignes jumellées. Ce dernier système est reconnu bon ; toutefois il n'est pas applicable dans les cas particuliers où la bande de terrain avoisinant la voie ne présente pas la largeur suffisante.

La prochaine réunion de la Commission est fixée au lendemain neuf heures et demie pour la continuation de l'examen des questions relatives aux poteaux.

M. Banneux ayant demandé si un membre ne pourrait pas donner des renseignements sur la préparation des poteaux au chlorure de zinc, la Commission fait remarquer que l'Allemagne, le seul pays où cette préparation ait été ou est encore en usage, n'est pas représentée. Il est décidé que la demande d'adjoindre un délégué de cette nation sera faite à la première réunion de la deuxième Section du Congrès.

La séance est levée à onze heures trois quarts.

DEUXIÈME SÉANCE

20 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. BERGON

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à neuf heures et demie du matin.

Sur l'invitation de M. le Président, M. BOUSSAC, *secrétaire,* donne lecture du procès-verbal de la dernière séance,

Diverses rectifications demandées, par MM. BERGON, BANNEUX et NYSTRÖM, sont opérées sur ledit procès-verbal.

M. le lieutenant-colonel WEBBER (Grande-Bretagne) demande à compléter les renseignements donnés dans les dernières séances par M. Graves, au sujet de la préparation des poteaux. Il dit qu'en Angleterre les poteaux créosotés sont exclusivement adoptés; qu'au moment où a eu lieu le rachat des lignes télégraphiques par l'État, M. Graves a remarqué que des poteaux injectés au sulfate de cuivre ont dû être mis hors de service après une durée totale de neuf ans, tandis que des poteaux créosotés durent encore aujourd'hui.

Sur une interrogation de M. le Président, M. Webber ajoute que ces poteaux provenaient de pins écossais, vieux et durs, et se trouvaient par conséquent dans des conditions défavorables à une bonne préparation. En surveillant une ligne construite par lui, M. Webber a observé que le composé solide formé par l'acide avec les substances albuminoïdes s'était dissous au niveau du sol.

M. ELSASSER (Allemagne) donne des renseignements sur les préparations en Allemagne. On fait usage de sulfate de cuivre ou de créosote, selon la nature du bois. Les poteaux préparés au sulfate de cuivre sous la surveillance des agents de l'Administration ont une durée de vingt ans. Le procédé employé est le procédé Boucherie. Les appuis injectés à la créosote sont bons, mais ils rendent le travail difficile; les ouvriers se sont

même refusés à y prendre part; de plus, les poteaux exhalent une odeur très désagréable. En résumé, on préfère la préparation au sulfate de cuivre.

Sur la demande de M. le Président, M. Webber fait connaître que les isolateurs en usage dans l'Inde sont en porcelaine, comme en Angleterre. On emploie principalement dans l'Inde les isolateurs Siemens recouverts de fer. En ce qui concerne les poteaux, on a des bois très durs et qui n'ont besoin d'aucune préparation. Dans beaucoup d'endroits, faute de bois, on emploie des poteaux Siemens en fer. La ligne indo-européenne contient un très grand nombre de ces appuis.

M. Nyström (Suède) dit qu'en Suède on injecte les poteaux au sulfate de cuivre; la pression n'est pas donnée par une colonne de liquide; elle est obtenue au moyen de pompes qui fournissent une pression d'une atmosphère et demie environ. On a observé que les injections confiées à des agents de l'État étaient meilleures que celles faites par des agents étrangers.

M. le Président fait remarquer que ce fait est général, et que les préparations exécutées en régie ont donné partout de meilleurs résultats que celles pour lesquelles on a eu recours à des entreprises.

Sous la réserve des corrections et des additions qui précèdent, le procès-verbal est approuvé.

M. le Président dit que la Commission doit s'occuper actuellement des sections de lignes souterraines qui commencent, terminent ou continuent les lignes aériennes dans les traversées de ville, sous les tunnels, ou sous les fleuves.

M. Elsasser. En Allemagne, on emploie sous les tunnels des câbles recouverts de fer, placés dans un canal en bois situé à deux mètres du sol et rempli de *laine minérale*. Sous les fleuves, on place des câbles de même nature. Dans les grandes villes, les câbles sont installés dans des canaux en briques et dans des tuyaux. On n'emploie pas de câbles recouverts de plomb à l'extérieur des bureaux.

M. Banneux (Belgique). En Belgique, on a adopté, comme en Allemagne, des câbles armés de fer. Ils sont placés dans des tranchées de $0^m,60$ dont le fond est garni de sable. Ils sont recouverts d'une sorte de voûte, formée au moyen de deux briques de champ recouvertes par une troisième posée à plat; une fois que les câbles y ont été placés, ils sont goudronnés au moyen d'une brosse.

Ce conduit est une simple précaution pour indiquer aux ouvriers la présence des câbles et empêcher qu'il ne soit coupé par eux.

On a construit également en Belgique des lignes souterraines au moyen de tuyaux de fonte évidés longitudinalement. La fente est fermée au moyen d'un fer à T retenu par des clavettes et recouvert de ciment.

Des observations sont échangées entre MM. Banneux, Elsasser et Brix au sujet de la laine minérale. Il en résulte que son emploi a été adopté en vue de préserver le câble de l'action de la chaleur; mais que cette substance paraît subir une transformation qui lui donne la propriété d'attaquer la gutta-percha, et que, pour ce motif, on renonce à son emploi.

M. Webber fait l'historique des lignes souterraines en Angleterre. Avant le rachat des télégraphes par l'État, les compagnies avaient construit leurs lignes souterraines chacune selon son système. Les câbles étaient placés sous terre dans des tuyaux de bois ou de fer. Ces lignes s'étant promptement détériorées, on a essayé de retirer les câbles; mais on rencontra de très grandes difficultés. On prit alors la résolution de rendre facile cette opération, et toutes les lignes construites depuis 1870 l'ont été par des procédés tendant à ce but. Le conducteur de cuivre est recouvert de trois couches de gutta-percha et de rubans goudronnés. Les sections ont 400 yards, et les regards par lesquels s'effectue le tirage des câbles sont placés tous les 100 yards. Quand un conduit est reconnu défectueux entre deux regards, on retire les câbles et l'on en place de nouveaux. On s'impose pour règle absolue de ne jamais laisser un câble défectueux dans les tuyaux. Dès qu'un seul conducteur est reconnu mauvais, on retire le câble.

M. Webber continue en donnant des renseignements sur une ligne souterraine construite en 1871 par M. Graves entre Liverpool et Manchester sur une distance de 50 kilomètres. Cette ligne a quatorze fils, et les câbles sont dans des tuyaux en terre cuite de 51 millimètres de diamètre. Pendant dix ans, l'entretien de cette ligne n'a coûté que 50 centimes par kilomètre de fil et par an.

M. le Président demande si cette ligne a été réunie à une ligne aérienne.

M. Webber répond négativement, mais il ajoute qu'en Angleterre cette disposition se rencontre fréquemment, attendu que l'établissement des lignes aériennes ne peut se faire que du consentement des propriétaires. A la sortie de Londres, il existait, avant 1870, des sections souterraines sur une distance de 15 kilomètres. Dans les villes, on construit généralement des lignes souterraines, mais on emploie également des fils fins sur des poteaux ornementés. La raison de cette dernière disposition est que les lignes aériennes sont moins coûteuses que les lignes souterraines et

qu'elles permettent d'éviter l'emploi de boîtes à coupure, qui sont des causes permanentes de dérangements.

Les câbles employés en Angleterre sont tous à un conducteur.

Alors que la ligne aérienne a une résistance de 12 ohms par mille, la résistance du conducteur du câble est de 22 ohms. Cette dernière résistance est convenable pour le service, et on ne l'a pas diminuée par simple raison d'économie.

En réponse à une interrogation de M. le Président, M. Webber fait connaître que les transmissions au Wheatstone par deux fils conducteurs de câbles voisins, dans la traversée de Londres, subissent un certain retard, mais que, même en tenant compte de ce retard, on arrive à transmettre deux cents mots à la minute, ce qui est considéré comme suffisant; que d'ailleurs on n'a remarqué aucune différence entre les retards produits à l'une ou l'autre extrémité de la ligne. La ligne de Londres à Aberdeen, qui a près de 1,000 kilomètres, fonctionne à la vitesse de deux cents mots à la minute, avec deux relais intermédiaires qui partagent la distance en trois.

Sur l'invitation de M. le Président, M. Richard (France) fait connaître qu'en France on construit les lignes souterraines dans les villes par des procédés semblables à ceux exposés par M. Webber. Les premières lignes, construites par M. Baron, datent de 1860; on est obligé de les réparer aujourd'hui, mais elles ont duré vingt et un ans.

Un échange d'observations a lieu entre MM. Webber, Richard, Bergon, Banneux et Baron, au sujet de la gutta-percha. Il en résulte que la gutta-percha de 1860 était meilleure que celle d'aujourd'hui et que, pour avoir actuellement la même qualité, il faut payer trois fois plus cher. On fournit des gutta-percha qui présentent un pouvoir isolant considérable, mais qui n'ont pas de durée. D'après M. Graves, la meilleure gutta-percha aujourd'hui est celle qui contient 25 pour 100 de résine et qui coûte 30 pour 100 de plus que les autres qualités. Son isolement est moindre au début, mais il est plus durable.

M. le Président. Avant de passer aux lignes entièrement souterraines, il y a lieu d'examiner quel est le meilleur mode de jonction des lignes aériennes et souterraines.

M. Elsasser dit qu'en Allemagne, les raccordements de ce genre s'effectuent dans des guérites en bois supportées par deux poutres; les fils de câbles sont amenés dans la guérite et fixés à des bornes montées sur des plaques d'ébonite. Un fil de gutta-percha est attaché à la même borne, sort de la guérite, passe, par un tuyau en ébonite et par une cloche en même substance, sur un petit isolateur-arrêt, et va rejoindre le fil de ligne sur lequel

il est enroulé et soudé. Ce système paraît meilleur que celui qui consiste à effectuer le raccordement dans des poteaux ou boîtes métalliques, parce que le bois est moins sensible que le fer aux effets de la chaleur.

M. Webber fait connaître comment on procède en Angleterre. Le fil de ligne, enroulé sur la gorge d'un champignon double, fixé au sommet d'un poteau, est replié sur lui-même et raccordé par un joint *Britannia*. Le fil, recouvert de gutta-percha, se détache de l'intérieur du poteau un peu au-dessous, et vient s'enrouler sur le fil de ligne, auquel il est en outre raccordé par un joint en spirale soudé.

M. Banneux demandant si le fil extérieur ne peut pas donner lieu à des pertes, il est expliqué que, dans les guérites, ce fil pénètre de bas en haut et à travers un tube en porcelaine, de manière que l'humidité ne puisse entrer dans l'endroit où se fait le raccordement avec le conducteur souterrain.

M. Elsasser expose un système usité à Berlin pour faire entrer les fils dans les édifices. Un fil d'acier qui s'enroule, par une de ses extrémités, sur le fil de ligne, traverse une petite cloche en ébonite, et se raccorde au conducteur interne dans la cavité même de la cloche. Toute perte est évitée par les parois de la cloche.

M. Banneux demande à revenir sur le sujet des lignes aériennes et prie la Commission de résoudre la question suivante : *Doit-on arrêter le fil à tous les isolateurs ou seulement de distance en distance ?*

MM. Bergon et Richard se prononcent pour l'arrêt du fil à tous les isolateurs, par le motif qu'on obtient ainsi une solidité plus grande. Des accidents très graves, tels que la chute d'une toiture de hangar sur les fils, ont permis de reconnaître que des lignes ainsi construites résistaient très bien.

A ce sujet, M. le Président fait remarquer que, dans des occasions de cette nature, les poteaux en bois résistent bien mieux que les poteaux en fer.

M. Elsasser est également d'avis d'arrêter le fil à tous les poteaux, par la raison que si on laisse le fil libre, il glisse et s'use sur les supports.

M. Nyström critique cette disposition, qui ne lui paraîtrait applicable que si les espacements étaient égaux. Les changements de température produisant des changements de tensions différentes dans des portées inégales, il faut en effet que le fil puisse glisser sur le support pour se mettre en équilibre, sans quoi les poteaux s'inclinent.

M. Richard réplique que, dans la plupart des cas et notamment dans les lignes de chemins de fer, les différences entre les espacements sont assez

petites pour que l'action de la température puisse être pratiquement négligeable.

M. Nyström reconnaît qu'en effet, pour les cas ordinaires, l'arrêt du fil n'a pas une grande importance pratique.

Sur une demande de M. Banneux, M. le Président fait connaître que, si l'on a renoncé en France et dans la plupart des pays à l'usage des isolateurs à crochet, c'est parce que les crochets finissent toujours par se desceller et que les fils tombent les uns sur les autres.

La prochaine séance est fixée au lendemain mercredi, neuf heures et demie du matin.

TROISIÈME SÉANCE

21 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. BERGON

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à neuf heures et demie du matin.

Sur l'invitation de M. le Président, M. BOUSSAC, *secrétaire*, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance.

Des rectifications demandées par MM. BANNEUX, NYSTRÖM et WEBBER sont opérées sur le procès-verbal.

M. LE PRÉSIDENT pose la question suivante : *Quel est le meilleur mode de construction des lignes souterraines à grande distance ?* et il ajoute qu'en ce moment l'Allemagne et la France sont les seuls pays possédant des lignes de cette nature.

Sir Charles BRIGHT (Grande-Bretagne) dit qu'en Angleterre on a établi en 1873 une ligne souterraine à longue distance ayant un développement de 750 milles de ligne et de 5,380 milles de conducteur. Cette ligne s'étendait de Douvres à Londres, Birmingham, Manchester, Glasgow, aussi de Damfries à l'atterrissement du câble d'Irlande et de Belfast à Dublin ; c'était la plus longue ligne existant à cette époque. Il y avait dix fils de Londres à Manchester, et 6 sur les autres sections.

Les conducteurs étaient des fils de cuivre recouverts de trois couches de gutta-percha et réunis en câbles à l'aide d'une double enveloppe de jute enduit de goudron de Norvège.

Le câble ainsi formé était déposé dans une rainure longitudinale creusée sur des pièces de bois créosotées. Une plaque enlevée à la scie à la partie supérieure de chaque pièce formait couvercle et était fixée par des clous. Les pièces de bois étaient placées dans une tranchée de 60 centimètres de profondeur.

En cinq ou six années, la ligne fut hors de service et remplacée tronçon par tronçon par une ligne aérienne.

Les défauts constatés provenaient de causes diverses. Elles se trouvent résumées dans une brochure de M. Banneux (Belgique), qui donne lecture du passage relatif à cet objet :

« 1° La fabrication avait laissé des bulles d'air dans la matière isolante; 2° les clous qui fixaient le couvercle du coffre protecteur avaient pénétré dans la gutta-percha ; 3° les feux allumés trop près des câbles, par les veilleurs lors de la pose, avaient provoqué la fusion de la gomme : 4° le diélectrique dans un milieu sec et sablonneux s'était desséché et crevassé ; au sein de l'eau stagnante et boueuse, il s'était oxydé ; près des tuyaux de gaz, on le trouvait altéré et en partie dissous; dans le voisinage des racines des chênes, des champignons d'une espèce particulière l'avaient décomposé ; 5° les piqûres faites dans la gutta-percha par les ouvriers, dans le but de reconnaître les fils et d'essayer leur isolement, n'avaient pas été convenablement fermées ; 6° enfin (dernière et importante remarque) les joints avaient été faits sans qu'aucune des précautions, reconnues aujourd'hui indispensables, eût été prise. »

Sir Charles Bright reconnaît que ce résumé est exact.

M. Brix (Allemagne). En Allemagne, on a construit, dès 1838, des lignes souterraines à grande distance ; mais, en cinq années, toutes les lignes ont été interrompues et remplacées par des lignes aériennes. La gutta-percha était entièrement altérée ; elle était devenue friable et présentait une grande quantité de fissures.

En 1876, on reprit les grandes constructions souterraines en établissant la ligne de Berlin à Hall ; distance : 165 kilomètres.

On s'est servi pour cette ligne d'un câble à 7 conducteurs ; chaque conducteur est un toron de 7 fils de cuivre et le câble a 16 millimètres de diamètre. Chaque toron est recouvert de deux couches de gutta-percha alternant avec deux couches de composition Chatterton. L'épaisseur du diélectrique est égale au diamètre du conducteur en cuivre. Depuis, on a augmenté ce dernier diamètre sans augmenter celui du diélectrique. On a eu ainsi un bon résultat et des lignes meilleures. Enfin, les âmes des câbles sont enveloppées de chanvre goudronné, et le tout est revêtu d'une armature protectrice en fil de fer galvanisé, laquelle est elle-même recouverte d'une couche de goudron asphalté.

L'isolement minimum par kilomètre est de 500 millions de U. S. Pour un câble neuf, cet isolement a atteint 4,000 millions de U. S. L'isolement s'est maintenu sur la ligne de Berlin à Hall ; il a même un peu augmenté.

D'après M. Brix, ce fait s'expliquerait par l'évaporation du goudron dont on avait imbibé la gutta-percha dans un but de conservation.

Sur des questions posées par M. le Président, MM. Brix et Elsasser donnent les renseignements suivants :

L'appareil Hughes fonctionne régulièrement, en Allemagne, avec une vitesse de 110 tours à 400 kilomètres de distance sans relais intermédiaires et sans dispositions spéciales relatives à la charge, mais avec relais locaux. On n'a éprouvé aucun inconvénient provenant de l'action d'un fil sur le fil voisin, et l'on emploie indifféremment les sept fils à grande distance. On a fait à ce sujet des expériences spéciales; on a travaillé sans difficulté sur tous les fils. Il y a bien une action inductive, mais elle est trop faible pour gêner le fonctionnement des appareils.

L'usage du relais local est motivé par l'imperfection des contacts de l'appareil. On n'a pas constaté quel était l'accroissement de vitesse produit par ce relais.

M. le Président fait connaître qu'en France on emploie des câbles à trois conducteurs dont un est plus gros que les deux autres, et qu'avec ces câbles l'appareil Hughes fonctionne par le gros fil à 400 kilomètres de distance avec une vitesse de 130 à 150 tours sans relais local, mais avec une décharge. Par les petits fils, l'appareil fonctionne dans les mêmes conditions, mais la vitesse est réduite à 110 tours.

Dans les sections où il n'y a qu'un câble, il est armé de fer ; dans celles où il y a deux ou plusieurs câbles, on a recours au système de conduites en fonte.

Pour répondre à des questions posées par MM. Elsasser et Bède, M. le Président explique que le mode de construction dont il s'agit n'est pas plus coûteux, dès qu'il s'agit de sections à trois câbles, que celui du câble à sept fils armé de fer; qu'on traverse les obstacles tels que les fossés ou ruisseaux au moyen de câbles armés de fer ou de tuyaux coudés ; qu'on passe au-dessous des ponceaux; que le tirage des câbles s'opère facilement par les regards, et que pour cette opération on s'est même servi avec succès d'une machine à vapeur, laquelle a donné une action plus régulière que la main de l'homme ; enfin qu'on n'a pas essayé en France le système des tuyaux préservateurs à joints articulés employés en Allemagne pour la traversée des grands fleuves.

M. le Président continue en demandant si l'on a déjà découvert quelque section de câble en Allemagne et constaté l'état du revêtement extérieur en goudron asphalté.

M. Brix répond que la conservation du goudron dépend du terrain,

mais que les seules altérations observées jusqu'à présent proviennent de l'action de la laine minérale.

M. Elsasser dit qu'en Allemagne les câbles sont introduits dans tous les bureaux situés sur le parcours, et disposés dans ces bureaux de manière à pouvoir être reconnus et expérimentés.

M. Banneux demande si en Allemagne on emploie des machines pour la confection des rigoles destinées aux câbles.

M. Elsasser répond négativement.

M. Banneux demande comment on vérifie en Allemagne l'exécution de la clause, imposée aux entrepreneurs, qui n'admet pas pour les câbles, au bout d'un an, une augmentation de perte de courant supérieure à 1 pour 100.

M. Brix répond que pour cela on a cherché une formule exprimant la perte totale ; que M. Schellen, en ayant fourni une qui n'a pas paru suffisamment exacte, il en a donné lui-même une plus exacte, fondée sur celle de M. Blavier ; cette formule a été adoptée. Ceci est d'ailleurs sans importance si les conditions d'isolement sont remplies ; on a tenu compte de cette clause pour les premières lignes ; mais on ne l'impose plus aujourd'hui.

Des observations qui sont échangées entre MM. Bergon, Elsasser, Banneux et Nyström, il résulte qu'en Allemagne on n'impose pas de conditions de maximum pour le degré d'isolement ; il suffit qu'il soit supérieur à 500 millions d'U. S. ; qu'en France, on fixe au contraire un maximum ; que la règle adoptée en ce qui concerne les dimensions relatives du diélectrique et du conducteur consiste dans l'égalité de poids par kilomètre de ces deux substances ; qu'en augmentant le diélectrique par rapport au conducteur, on augmente la vitesse de transmission, et que par une proportionnalité convenable on pourrait arriver à avoir la même vitesse sur tous les câbles.

M. Elsasser demande si les tuyaux adoptés en France pour les lignes souterraines à grande distance sont étanches.

M. le Président répond négativement ; mais il ajoute que l'eau qui y pénètre y entretient une humidité favorable à la conservation de la gutta-percha.

Sir Charles Bright dit que la gutta-percha se conserve très bien dans l'eau de mer ; qu'il a examiné un échantillon du câble de la Manche de 1851, et qu'il a trouvé la gutta-percha en parfait état ; il ajoute que le goudron végétal n'altère pas la gutta-percha, mais qu'il peut masquer des défauts d'isolement.

M. Brix fait connaître qu'en Allemagne un câble ayant été recouvert d'une enveloppe d'étain pour éviter l'induction, ce métal avait caché des fautes qui ne se révélèrent qu'après quelques années, lorsque l'étain eut disparu ; il recouvrait les trous de la gutta-percha.

Sir Charles Bright demande si l'on a fait des essais du système Brooks pour lignes souterraines.

M. Banneux dit qu'on l'a essayé en Belgique sur une petite distance; qu'on a reconnu des isolements variables et très différents d'un fil à l'autre; que les phénomènes d'induction n'ont pas été observés ; que l'huile a été renouvelée. D'après M. Brooks, la première huile doit s'oxyder, la seconde doit se conserver indéfiniment.

M. le Président fait connaître que des essais se poursuivent en France, mais qu'ils ne sont pas assez complets pour donner d'utiles indications.

M. Banneux demande à M. Graves si l'article publié par *The Telegraphic Journal* du 15 août 1881, au sujet des expériences faites en Angleterre sur le système Brooks, est exact.

M. Graves répond affirmativement.

La prochaine réunion est fixée au lendemain jeudi, neuf heures et demie du matin.

QUATRIÈME SÉANCE

22 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. BERGON

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à neuf heures et demie du matin.

Sur l'invitation de M. le Président, M. BOUSSAC (France), *secrétaire*, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance.

Ce procès-verbal est adopté.

M. LE PRÉSIDENT demande à la Commission si, afin de pouvoir présenter aujourd'hui même à la réunion de la Section quelque sujet d'examen, il ne conviendrait pas de s'arrêter au point actuel, et de résumer les observations échangées dans les trois dernières séances.

M. BOUSSAC fait remarquer que pour faire utilement ce résumé, il serait peut-être nécessaire qu'un membre allemand voulût bien donner à la Commission les renseignements demandés dans la première séance par M. Banneux au sujet des injections au chlorure de zinc.

M. ELSASSER (Allemagne) explique que ce genre de préparation a été abandonné parce qu'il exige que les bois soient desséchés avant d'être soumis à l'injection, et que cette condition s'accommode mal avec la nécessité de préparer et de planter les appuis dans l'année même où les crédits sont accordés.

L'injection avait lieu au procédé Bethell, dans des chantiers permanents, quelquefois très éloignés des lieux d'abattage, ce qui nécessitait de grands frais de transport et exigeait des délais très grands, eu égard à l'obligation de dessécher les poteaux avant leur introduction dans le cylindre de préparation.

Pour ces motifs on préfère l'injection au sulfate de cuivre par le procédé Boucherie.

Une discussion, à laquelle prennent part MM. BANNEUX et RICHARD,

s'engage sur le point de savoir si la combinaison formée par le sulfate de cuivre avec la sève est insoluble; M. Richard est pour la négative. Il cite à l'appui de son opinion que des poteaux bien injectés, placés dans une écluse baignée par l'eau de mer et expérimentés peu de temps après au cyanure de potassium, n'ont pas donné trace de cuivre. M. Banneux expose que des poteaux datant de 1852 ayant été expérimentés au cyanure, n'ont rien donné, et que cependant par incinération on a retrouvé du cuivre. Pour lui, l'action du sulfate de cuivre est analogue à l'effet de la galvanisation sur le fer.

M. Elsasser fait connaître qu'en Allemagne on a exécuté quelques préparations au bichlorure de mercure; on les a abandonnées pour des raisons hygiéniques.

M. le Président pense qu'il y aurait lieu de reprendre ce qui a été dit dans les trois dernières séances pour classer les communications qui devront être faites à la Section.

M. Boussac propose de mettre, dès maintenant, à l'ordre du jour, la question des unités, qui aboutira à un projet de résolution pouvant être porté devant la Section.

Cette proposition étant approuvée, M. le Président demande l'avis de la Commission sur la question de la jauge des fils de fer, de cuivre et d'autres métaux, en un mot, de tous les produits des tréfileries mécaniques.

M. Banneux (Belgique) fait remarquer que chaque pays et même chaque fabricant a sa jauge particulière; ce qui donne lieu à de grands inconvénients.

M. Bède (Belgique) est d'avis de supprimer les jauges d'une manière absolue et de ne plus désigner les fils que par leurs diamètres en millimètres et fractions de millimètres.

M. Rothen (Suisse) se rallie complètement à la proposition de M. Bède.

MM. Webber et Graves (Grande-Bretagne) font connaître qu'en Angleterre on donne toujours, dans la pratique, la mesure des fils en millimètres.

M. Elsasser dit qu'en Allemagne on désigne également les fils par leur diamètre en millimètres, mais en indiquant deux limites, l'une supérieure, l'autre inférieure.

Sir Charles Bright (Grande-Bretagne) se rallie à la proposition de M. Bède, qui se trouve ainsi obtenir l'unanimité dans la Commission. La rédaction suivante est adoptée :

« La Commission émet le vœu que, dans les marchés et publications on

ne désigne désormais, dans tous les pays, les fils que par leur diamètre en millimètres et fractions de millimètres, à l'exclusion de toute indication de jauge. »

La Commission décide ensuite de présenter à la Section le vœu suivant, en conformité de ce qui a été dit dans la première séance :

« Une entente sera établie entre les administrations télégraphiques des divers pays, à l'effet d'instituer des expériences périodiques de mesure sur les fils internationaux. »

M. LE PRÉSIDENT invite la Commission à examiner la question du bronze phosphoreux.

M. NYSTRÖM (Suède) croit que ce fil aura une conductibilité de 20, celle du cuivre étant désignée par 100.

M. ROTHEN a mesuré la résistance de 1 kilomètre de fil de $1^{mm},25$ de diamètre. Il l'a trouvée égale à 90 U. S.

M. BÈDE dit que la résistance de 1 kilomètre de fil de 4 millimètres étant de 40 ohms, celle d'un fil de bronze phosphoreux de même diamètre n'est que de 28 ohms.

Ces résultats offrent de grandes divergences; M. BANNEUX (Belgique) les explique en faisant connaître que M. Montefiore, inventeur du fil de bronze phosphoreux, n'a eu en vue jusqu'à présent que de faire un fil pour téléphone. Il ne s'est préoccupé, en conséquence, que d'obtenir la plus grande ténacité sous le poids spécifique le plus petit, laissant de côté la question de résistance électrique dont il s'occupera prochainement.

M. GRAVES fait connaître qu'en Angleterre on emploie, depuis 1877, dans la traversée des villes, beaucoup de fils de cuivre de 2 millimètres de diamètre qui passent sur les toits des maisons. Cette disposition a présenté de très grands avantages pour les lignes traversant les villes, ou situées à proximité des usines.

M. WEBBER dit que dans l'Inde le fil de fer se conserve très bien. La ligne de Calcutta à Java (1,900 milles) est tout entière en fil de $7^{mm},6$ qui reste en parfait état.

M. GRAVES demande s'il a été fait des expériences sur le fil de fer non galvanisé.

M. ROTHEN répond qu'en Suisse on n'a commencé à faire usage du fil galvanisé qu'à partir de 1867. On a trouvé qu'en général le fil non galvanisé durait vingt ans. Au bout de ce temps-là, un fil de 3 millimètres a encore un diamètre de 2 millimètres de fer; il a perdu 1 millimètre converti en rouille. Le fil n'est pas lisse, sa surface est percée de petits trous.

M. le Président fait remarquer que ces résultats suffiraient pour condamner l'emploi du fil non galvanisé, attendu qu'il n'est pas possible d'admettre une telle diminution dans la conductibilité et dans la ténacité.

MM. Banneux et Nyström font connaître qu'en Belgique et en Suède on a renoncé à l'emploi de fil non galvanisé.

M. le Président met à l'ordre du jour la question des fils d'acier.

M. Webber dit qu'à Londres on se sert de fil d'acier recouvert de cuivre par le procédé galvanique. Ce fil est fabriqué en Amérique. On a remarqué malheureusement que la couche de cuivre n'est pas égale; mais si cette couche pouvait être régularisée, ce fil serait bon.

M. Banneux pense qu'il faudrait pour cela le passer à la filière. Il donne ensuite des renseignements sur le véritable fil compound dans lequel un ruban de cuivre est superposé à l'acier sur lequel il est soudé. Ce fil, qui ne pèse que 37 kilogrammes par kilomètre, a été essayé près des stations sujettes à des dégagements de fumées. Au bout de dix-huit mois, le cuivre s'était, en beaucoup de points, séparé de l'acier. Le même effet a été observé en France.

M. Rothen expose qu'il a expérimenté les résistances électrique et mécanique des fils d'acier. Il a trouvé : 1° que lorsqu'un fil de fer de 2 millimètres offrait une résistance électrique de 40 à 45 U. S., un fil d'acier de même diamètre donnait 65 U. S.; 2° qu'un fil d'acier de 2 millimètres supportait 400 kilogrammes de traction.

M. Elsasser dit qu'en Allemagne les fils d'acier employés pour les téléphones doivent, d'après les cahiers des charges, supporter une traction de 500 kilogrammes.

Cette discussion complémentaire terminée, la Commission récapitule les résultats de ses travaux antérieurs dans les cinq observations suivantes :

1° La meilleure matière pour constituer les isolateurs est la porcelaine, et la meilleure forme celle à double cloche;

2° En ce qui concerne l'injection des poteaux, les meilleures substances sont le sulfate de cuivre et la créosote, selon les convenances des divers pays;

3° Les poteaux de bois doivent être généralement employés, sauf dans des cas particuliers où les poteaux de fer peuvent présenter certains avantages;

4° Les fils employés pour la construction des lignes télégraphiques doivent être des fils de fer galvanisés. Les essais faits jusqu'à ce jour sur l'acier et le bronze phosphoreux n'ont pas donné des résultats suffisamment

précis pour qu'il soit possible de se prononcer, du moins en ce qui concerne la construction des lignes télégraphiques;

5° Les modes de raccordement des fils de lignes aériennes, reconnus les meilleurs, sont : le manchon français et le joint Britannia. Toutefois, la Belgique emploie encore la torsade double soudée, qui lui donne de bons résultats.

La Commission décide que ces observations seront communiquées à la Section, en même temps que les deux vœux ci-dessus mentionnés, dans la séance qui aura lieu le jour même à deux heures.

La séance est levée à onze heures et demie.

CINQUIÈME SÉANCE

24 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. BERGON

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à neuf heures et demie du matin.

Sur l'invitation de M. le Président, M. BOUSSAC, *secrétaire*, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance.

Ce procès-verbal est adopté.

M. BANNEUX (Belgique) fait remarquer que, dans le vœu émis au sujet de la suppression de toute indication de jauge, il n'a été question que des fils métalliques. La même disposition ne devrait-elle pas être étendue au diélectrique des câbles ?

Cette question en amène une autre, posée par M. WEBBER (Grande-Bretagne), qui consiste à définir exactement ce qu'on doit entendre par câble et par fil recouvert.

Après un échange d'observations auxquelles prennent part tous les membres de la Commission, on tombe d'accord pour appeler *fil recouvert*, un conducteur composé d'un fil unique ou d'un toron simplement recouvert d'un diélectrique sans protection aucune, et pour réserver le nom de *câble* à tout fil recouvert dont le diélectrique est lui-même revêtu d'un préservateur quelconque, guipage ou armature métallique. On pourra avoir ainsi des câbles à un ou à plusieurs conducteurs.

Ces définitions étant admises, la Commission discute l'observation de M. Banneux, et décide, sur la proposition de M. Bède, qu'à la prochaine séance de la Section il sera fait une demande à l'effet d'ajouter au vœu relatif à la suppression de la jauge, l'indication complémentaire suivante :

« Il est entendu que, pour les fils recouverts et les câbles, toutes les mesures d'épaisseur seront *également* désignées en millimètres et fractions de millimètres, à l'exclusion de toute indication de jauge. »

M. LE PRÉSIDENT expose, ainsi qu'il suit, la question dont la Commission doit maintenant s'occuper :

Si l'on a à construire une ligne sous tunnel, souterraine ou sous-marine, quelles conditions faut-il exiger de la gutta-percha, et à cette occasion que valent la *kérite* et la *nigrite?*

Il est bien établi que la gutta-percha est un excellent isolant, qui se conserve parfaitement sous l'eau de mer, mais qui, au contraire, résiste mal aux alternatives de sécheresse et d'humidité. En ce qui concerne les lignes sous-marines, il ne paraît donc y avoir aucune incertitude sur la supériorité de la gutta-percha; mais, pour les lignes sous tunnels ou souterraines, il y aurait peut-être lieu d'examiner si l'on ne possèderait pas un moyen de faire disparaître les défauts que présente la gutta-percha dans ces cas spéciaux, ou si d'autres isolants ne vaudraient pas mieux.

M. BANNEUX demande si le caoutchouc n'a pas donné de bons résultats pour les lignes sous-marines.

M. LE PRÉSIDENT répond que cette substance coûte plus cher que la gutta-percha, et qu'elle présente en outre l'inconvénient grave d'être altérée par le cuivre. M. le Président pense que, abstraction faite, bien entendu, de l'action du sol sous-marin qui est le même dans tous les cas, des gutta-percha, même médiocres, se conduiraient très bien une fois que le câble est sous la mer; de sorte que, si on parvient à poser heureusement un câble fabriqué même avec des gutta-percha inférieures, ce câble a des chances de durer longtemps.

Sir Charles BRIGHT (Grande-Bretagne) est du même avis. Il ajoute qu'il a dirigé l'immersion de 10,000 milles de câbles et qu'il n'a pas confiance dans le caoutchouc. Quelques essais ont été faits, notamment un dans le golfe Persique, avec des câbles fabriqués au moyen du caoutchouc Hooper, mais le résultat n'a pas été favorable.

D'après sir Charles Bright, le meilleur diélectrique, tout aussi bien au point de vue mécanique qu'au point de vue électrique, est la gutta-percha, pourvu qu'on prenne les précautions nécessaires pour la préserver de la chaleur, et qu'on la maintienne dans l'eau pendant tout le temps qui s'écoule entre la fabrication du câble et son immersion.

M. LE PRÉSIDENT aborde la question des mélanges de gutta-percha. Il rappelle que les premiers câbles ont été construits avec des gutta-percha nerveuses. Mais il ajoute que ce produit est devenu tellement cher aujourd'hui qu'on fait des mélanges ayant moins de nerfs. On a essayé de les surchauffer pour oxyder la matière et pour diminuer la capacité électro-statique, et on a fabriqué ainsi des câbles de moindre durée. Il y a

donc lieu d'examiner quels sont, dans les divers pays, les procédés usités pour reconnaître les mélanges de gutta-percha.

Des expériences de ce genre n'ont pas encore été entreprises; M. le Président expose qu'à son avis l'échauffement du mélange pourrait donner de bons renseignements. L'expérience a fait reconnaître que, pour les bonnes gutta-percha nerveuses, l'isolement change relativement peu, lorsque la matière passe, par exemple, de 14 à 24 degrés, tandis que pour les mélanges la différence est beaucoup plus sensible. D'après cela, le meilleur mélange serait celui dont l'isolement varierait le moins avec la température. Ce serait peut-être là une base pour des méthodes d'expérimentation, à défaut de l'analyse chimique qui, dans le cas présent, ne peut donner aucun résultat pratique.

Sir Charles Bright dit qu'il faut tenir compte de l'âge de la gutta-percha.

M. Webber ajoute que, si l'exploitation de la gutta-percha continue à se faire sans aucune espèce de contrôle de la part des administrations des pays producteurs, cette substance manquera absolument dans une trentaine d'années. Il faudrait que dans ces pays, comme cela a déjà lieu d'ailleurs au Brésil, des mesures fussent prises pour permettre aux arbres d'arriver à l'âge voulu. M. Webber propose en conséquence à la Commission d'émettre un vœu tendant à ce que, dans les pays possédant par eux-mêmes ou par leurs colonies des arbres à gutta-percha, on régularise l'exploitation de ces arbres. La Commission décide que ce vœu sera soumis à la Section.

M. Banneux fait remarquer que la question de l'essai des mélanges de gutta-percha se lie à celle d'un minimum d'isolement. Elle peut, en effet, se résumer ainsi : On a des mélanges qui présentent au début un *très fort* isolement, mais cet isolement ne se maintient pas; n'existe-t-il pas des mélanges qui ont un isolement moyen? D'où il résulte qu'on devrait imposer un minimum et un maximum.

M. le Président observe que c'est précisément ce qui se fait en France, afin d'obtenir des mélanges aussi homogènes que possible. Il revient ensuite au cas spécial de câbles exposés à l'air et à la lumière, pour lesquels la gutta-percha est insuffisante, et il demande l'avis de la Commission sur la valeur de la *nigrite* et de la *kérite*.

La Commission décide que des renseignements seront demandés aux fabricants de nigrite, au sujet de la composition et du prix de cette substance.

La Commission décide également qu'il sera pris des renseignements

analogues relativement à la kérite. Cette substance, dit M. le Président, a été en France l'objet de quelques essais. Ces essais ont montré qu'au point de vue électrique la kérite était inférieure à la gutta-percha, mais qu'elle résistait mieux aux alternatives d'humidité et de sécheresse, et qu'elle pourrait être, par conséquent, préférable pour certains câbles, tels que ceux destinés, par exemple, aux usages de la télégraphie militaire.

M. Baron (France) demande si l'on est satisfait en Suisse des câbles du système Berthoud-Borel.

M. Rothen (Suisse) répond qu'un câble de cette nature est posé depuis six mois, et qu'il ne paraît pas avoir perdu de son isolement ; ce câble n'ayant qu'un conducteur, on n'en peut rien conclure à l'égard du fonctionnement d'un câble multiple de ce système. Il y a lieu d'observer, cependant, que l'enveloppe de plomb joue ici un rôle très important, et que, pour peu qu'elle soit endommagée, le câble est perdu, parce que la paraffine ne peut se maintenir au contact de l'air.

Sous la réserve des renseignements à prendre au sujet de la nigrite et de la kérite, la discussion est close, et la séance est levée à onze heures et demie du matin.

La prochaine réunion est fixée au mardi 27 septembre, neuf heures et demie du matin, pour l'examen des lignes téléphoniques.

SIXIÈME SÉANCE

27 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. BERGON

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à neuf heures et demie du matin.

Sur l'invitation de M. le Président, M. BOUSSAC, *secrétaire*, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance.

Ce procès-verbal est adopté.

La question des lignes téléphoniques ayant été traitée, dans les séances de la deuxième Section, M. LE PRÉSIDENT déclare terminés les travaux de la Commission des lignes télégraphiques.

La séance est levée à neuf heures quarante-cinq minutes.

TROISIÈME SECTION

PREMIERE SÉANCE

16 septembre 1881

Sur le vœu général de la Section, M. Warren de la Rue prend la présidence provisoire pour la constitution du Bureau.

Il demande s'il y a des propositions pour la constitution de ce Bureau. On propose :

Comme *président :* M. Hughes (Grande-Bretagne) ;

Comme *vice-présidents :* MM. E. Becquerel (France) et Belpaire (Belgique) ;

Comme *secrétaires :* MM. Egoroff (Russie), Mac-Lean (États-Unis).

Ces propositions, mises aux voix, sont adoptées.

M. Hughes remercie la Section ; mais, comme marque de déférence envers M. Spottiswoode, président de la Société royale de Londres, il désire le voir porter à la présidence à sa place.

L'assemblée accueille favorablement le désir de M. Hughes et M. Spottiswoode prend place au bureau.

M. Mac-Lean remercie l'assemblée et déclare, à son grand regret, ne pouvoir accepter les fonctions de secrétaire, à cause de son peu de connaissance de la langue française.

On propose à sa place M. le lieutenant colonel Sebert (France), qui est immédiatement élu.

Le Bureau étant ainsi constitué, M. le Président déclare la séance ouverte et donne lecture de la première question, qui est ainsi conçue :

Mesure de l'intensité lumineuse des sources électriques. — Comparaison des divers procédés photométriques. — A défaut d'une unité absolue pour la mesure des intensités lumineuses, existe-t-il un type qui puisse

être recommandé comme étalon international? — Est-il possible d'établir des règles simples pour les mesures photométriques ?

Il demande si quelqu'un veut prendre la parole sur cette question.

M. Bède (Belgique) propose de nommer une Sous-Commission qui préparerait le travail.

M. le Président fait remarquer qu'avant de nommer une Sous-Commission, il conviendrait d'éclairer la question par une discussion générale propre à diriger les travaux.

M. Ayrton (Grande-Bretagne) pense qu'il y a dans les mesures photométriques deux difficultés principales : d'abord la couleur, qui est particulièrement gênante dans les mesures de lumière électrique, la teinte de celle-ci étant très différente de celle des étalons généralement en usage. On se sert de verres colorés ordinairement rouges ou verts; mais ces deux teintes donnent souvent des résultats différents. Il faudrait au moins, dans les expériences de ce genre, dire de quel verre on s'est servi.

L'autre difficulté réside dans l'absence d'un étalon de lumière précis. L'étalon électrique proposé par M. Schwendler est d'une réalisation difficile; les bougies employées en Angleterre et en Allemagne ne fournissent qu'une base très irrégulière. M. Ayrton ne croit pas devoir, pour le moment, indiquer de méthode précise. Il n'a d'autre but que d'appeler l'attention de la Commission sur les difficultés du sujet.

M. Crova (France) dit que la question des mesures photométriques est très difficile quand il y a entre les sources lumineuses une différence notable de couleur. Une solution est fournie par le spectrophotomètre, mais cet instrument, à son avis, est peu pratique. L'orateur s'est proposé de comparer les lumières sans altérer les intensités. L'étalon Carcel, employé avec toutes les précautions que Fresnel a indiquées, lui paraît convenable; on pourrait même employer des lampes à plusieurs mèches en les étalonnant convenablement. Les étalons électriques lui paraissent inférieurs.

Pour faire la comparaison, il élimine, dans chacune des deux lumières, les parties extrêmes des spectres qui introduisent les plus grandes différences de teinte, et il compare ensuite la région moyenne des spectres. Pour cela, employant le photomètre de Foucault, il regarde les deux moitiés éclairées du disque, à l'aide d'une lunette renfermant deux prismes de Nicol croisés, séparés l'un de l'autre par une lame de quartz de 9 millimètres d'épaisseur. De cette façon, les parties extrêmes des deux spectres sont éliminées et il reste, pour chacune des sources, deux lumières d'un blanc lavé de vert, très analogues et très faciles à comparer, qui permettent une déter-

mination exacte. Des expériences faites chez MM. Breguet et Duboscq ont montré que ce procédé était applicable aux lumières Drummond et électriques. Il resterait à déterminer les dimensions précises de la lame de quartz qui, pour chaque espèce de lumière, donnent des rapports d'intensités exactement les mêmes que ceux de l'éclairage total.

M. Bergé (Belgique) est d'avis que l'étalon Carcel a de graves défauts. Il pense que la lumière ne doit être mesurée ni directement ni par l'ombre qu'elle produit et qui peut être colorée. Il serait, à son avis, préférable de prendre, comme base de mesure, la lumière diffusée par un écran. A cet effet, masquant la vue directe de la source, il observe, à l'aide d'une lunette remplie, sur une longueur donnée, d'une dissolution cupro-ammoniacale titrée, un panneau blanc, éclairé par les rayons de cette source. On mesure l'intensité lumineuse par la distance qui sépare l'écran de la source étudiée au moment où l'on commence à apercevoir l'éclairement.

M. Bergé ne prétend pas apporter au Congrès une méthode immédiatement applicable, mais une idée pouvant se prêter à des développements ultérieurs.

M. Tchikoleff (Russie) estime que l'étalon Schwendler est préférable aux autres. Il est plus facile de posséder un courant constant que de se procurer une huile d'une qualité toujours identique. De même le fil de platine est toujours semblable à lui-même, avantage que la mèche ne présente pas. Enfin on n'a pas à compter, dans l'incandescence, avec les variations inévitables de la flamme.

Quant au photomètre, M. Tchikoleff propose d'employer celui de Masson, sur lequel on pourrait projeter la lumière sous forme d'éclat rapide.

M. Neujean (Belgique) propose d'employer comme étalon lumineux soit la lampe Drummond, soit la lumière obtenue par la combustion d'un morceau de magnésium.

Personne ne demandant plus la parole sur la question, M. le Président propose de nommer la Commission et présente une liste de membres.

M. Bède (Belgique) estime que la Commission proposée est trop nombreuse et enlèverait trop de membres aux travaux de la Section.

M. Fontaine (France) est d'avis qu'il serait préférable de ne pas nommer de commission spéciale. La Section pourrait se diviser en un certain nombre de sous-commissions fonctionnant ensemble, dans lesquelles chacun des membres pourrait s'inscrire à son gré, suivant les questions traitées.

M. Jablochkoff (France) fait remarquer que, de cette façon, les membres ne pourront pas suivre l'étude de l'ensemble des questions.

La proposition de M. Fontaine, mise aux voix, n'est pas adoptée.

M. le commandant Mathieu (France) pense qu'il suffirait de nommer une Commission de sept ou neuf membres.

M. Moulton est d'avis que toutes les questions ne comportent pas un vote de la part du Congrès; que, en particulier, celle qui est actuellement soumise à la troisième Section n'a pas besoin d'une conclusion de cette nature, et qu'elle réclame surtout un échange d'idées. Il propose de ne pas nommer de Commission et de continuer la discussion en séance de Section.

Cette proposition, mise aux voix, est adoptée.

M. Jablochkoff (France) insiste beaucoup pour que les rédacteurs scientifiques de la presse soient largement admis, même aux séances de Section. Il estime qu'en particulier les travaux de la troisième section, consacrés aux applications de l'électricité, gagneront à être vulgarisés. Il propose à la Section d'émettre, dans ce sens, un vœu qui serait soumis au Congrès en séance plénière.

M. le Commissaire général fait remarquer que cette question a déjà été résolue négativement dans l'assemblée plénière du jeudi 15.

La proposition, mise aux voix, est rejetée.

La suite de la discussion est remise au lendemain à la même heure.

La séance est levée à cinq heures quarante-cinq minutes.

DEUXIÈME SÉANCE

17 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. SPOTTISWOODE

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à quatre heures dix minutes.

M. LE SECRÉTAIRE déclare que le procès-verbal de la première séance ne lui est pas encore parvenu.

M. LE PRÉSIDENT donne communication d'une lettre que M. de Fonvielle, rédacteur en chef du journal *l'Électricité*, a fait parvenir à M. le Ministre des Affaires étrangères sur la question de la protection, soit en temps de guerre, soit en temps de paix, des câbles sous-marins. (Voir Annexe I, page 340).

M. BÈDE (Belgique), revenant sur la proposition de M. Bergé, présentée à la séance du 16 septembre, la combat aux points de vue suivants :

1° La loi de la réflexion du faisceau lumineux sur l'écran n'est pas connue ;

2° La loi d'absorption des rayons lumineux par la solution cupro-ammoniacale n'est pas déterminée ;

3° Il faut tenir compte de l'équation personnelle de l'observateur. L'orateur renouvelle les critiques contre la lampe Carcel et recommande l'étalon Schwendler, qui lui paraît présenter toutes les garanties de constance et d'exactitude.

M. CROVA (France) demande que la question soit divisée en deux :

1° Celle de l'étalon lumineux ;

2° Celle de la photométrie.

Il rappelle les détails de la méthode photométrique qu'il a proposée dans la séance précédente. Il critique l'étalon Schwendler auquel il reproche :

1° Que la lame de platine ne conserve pas une structure moléculaire

et par conséquent un pouvoir émissif constants, même en employant une lame de platine platiné ;

2° Qu'il est nécessaire de surveiller en même temps le rhéostat et le galvanomètre, ce qui rend les observations très difficiles.

M. Allard (France) prend la défense de la lampe Carcel ; il explique que, pour faire disparaître l'influence des colorations, il suffit de cligner des yeux, ce qui fait paraître d'un gris uniforme les deux bandes lumineuses du photomètre.

Quant à l'évaluation de l'intensité lumineuse, il indique pour l'obtenir un procédé qui consiste à atténuer les variations d'éclat en multipliant le nombre des expériences et les répétant toutes les 15 ou 30 secondes, pendant un quart d'heure.

Il recommande l'emploi de la lampe Carcel de préférence à la bougie, en adoptant le type du service des phares, qui brûle avec une mèche de 20 millimètres et consomme à l'heure 40 grammes d'huile de colza épurée, la lampe étant allumée un quart d'heure avant l'expérience.

M. Mercadier (France) présente à ce sujet quelques observations tendant à rappeler les conditions d'emploi de la lampe de Fresnel.

M. Rousseau (Belgique) fait remarquer qu'en dehors des questions relatives à l'étalon lumineux et à la photométrie, il convient de se préoccuper de l'effet utile d'un foyer électrique, dans les différents cas de l'éclairage, en déterminant sa formule photométrique, c'est-à-dire la relation qui existe, pour ce foyer, entre l'intensité lumineuse et la direction des rayons. Cette question est tout à fait indépendante du choix de l'étalon, puisque, pour la résoudre, on aura à comparer entre elles, non pas les intensités lumineuses du foyer électrique et d'un étalon quelconque, mais les intensités de deux foyers identiques rayonnant dans des directions différentes. Dans un grand nombre de cas, les rayons faisant un même angle avec une direction déterminée, celle d'intensité maxima par exemple, auront une même intensité. L'intensité lumineuse I sera alors une fonction de cet angle θ et pourra être représentée par une expression de la forme $I = f\theta$.

Cette expression permettra de calculer, par une intégration facile, soit la quantité totale de lumière qui tombe sur toute la surface de la sphère, soit celle qui serait contenue dans un cône dont les génératrices feraient un angle déterminé avec la direction d'intensité maxima. Si les rayons faisant un même angle avec cette direction avaient des intensités inégales, la formule photométrique serait un peu plus compliquée, et l'intensité s'exprimerait alors par une fonction des deux angles qui déterminent la direction du rayon.

Toute détermination photométrique doit comporter cette formule, et l'orateur dépose un projet de vœu sur lequel la Section se prononcera dans le cours de la séance.

M. Allard appuie l'opinion de M. Rousseau et entre à ce sujet dans le détail des expériences photométriques couramment exécutées par le service des phares.

M. Neujean (Belgique) est d'avis qu'on pourrait employer la lumière oxyhydrique ou celle du magnésium, en déterminant les conditions de leur emploi.

M. le Président met aux voix le projet de vœu suivant, préparé par M. Allard :

La troisième Section émet le vœu qu'en attendant qu'on puisse indiquer une unité photométrique absolue, il y a lieu de recommander l'emploi de la lampe Carcel (type du service des phares), de préférence à la bougie.

Ce *projet* de vœu est adopté à la majorité des membres présents.

Sur une observation de M. Melsens, M. Allard fait remarquer que, dans les ouvrages même de Fresnel, la consommation d'huile de la lampe Carcel employée aux expériences photométriques est fixée à 40 grammes par heure. Ce chiffre doit être considéré comme une moyenne pour des expériences prolongées pendant trois ou quatre heures.

M. le Président met aux voix le projet de vœu suivant, proposé par M. Rousseau :

Le Congrès décide que toute détermination photométrique d'un foyer électrique doit comprendre comme élément essentiel la formule de ce foyer, c'est-à-dire la relation existant entre l'intensité lumineuse et la direction des rayons.

Ce projet est adopté.

M. Tchikoleff (Russie) recommande pour les mesures photométriques le photomètre Masson, dont il donne une description sommaire.

M. Becquerel, *vice-président* (France), après avoir rappelé les expériences photométriques qu'il a exécutées avec M. Masson lui-même, explique que cet appareil, fondé sur la sensibilité de l'œil, ne peut pas être considéré comme toujours comparable à lui-même. Les résultats obtenus varient avec les observateurs, et pour le même observateur avec la durée de l'expérience, l'habitude, etc. Il considère que la méthode ordinaire donne des résultats plus certains, parce qu'il est plus facile d'ap-

précier l'égalité des effets provenant de deux sources lumineuses que le moment précis où l'une des deux sources prédomine sur l'autre.

M. Tchikoleff répond que le photomètre Masson a été perfectionné de manière à se prêter à des applications pratiques.

M. Crova développe une proposition sur laquelle la Section a été invitée à se prononcer ultérieurement.

M. Latchinoff (Russie) fait ressortir les facilités qu'offre le photomètre Bunsen pour les mesures ordinaires, et développe la méthode qu'il emploie avec succès dans ses opérations.

M. le Président met aux voix la proposition suivante, déposée sur le bureau par M. Crova :

Une Commission internationale sera nommée pour essayer les diverses méthodes photométriques et proposer l'adoption de celle qui paraîtra la plus pratique.

M. Tchikoleff propose de charger en outre la Commission ci-dessus indiquée de l'étude de l'étalon lumineux de Schwendler. La proposition de M. Crova, mise aux voix, est adoptée sans aucun amendement à la majorité des membres présents.

Ce sujet étant épuisé, M. le Président donne lecture du paragraphe suivant : *Comparaison des effets des machines à courants continus ou alternatifs*, et déclare la discussion ouverte sur cette question.

M. Tchikoleff rappelle qu'il existe de nombreuses études sur les machines dynamo-électriques, mais elles ne sont aucunement comparables, par suite de la diversité même des conditions où se sont placés les expérimentateurs. Il conviendrait de prendre comme première donnée de toute expérience ce qu'il appelle la densité du courant, c'est-à-dire la quantité d'électricité qui passe par unité de section dans l'unité de temps, et de comparer les machines dans le cas de densités égales de courant.

M. Allard a essayé différentes machines magnéto-électriques et dynamo-électriques, en prenant comme terme de comparaison la force motrice absorbée par chacune d'elles. Avec les machines magnéto-électriques de l'Alliance, il a obtenu un rendement de 60 carcels par cheval; avec les machines dynamo-électriques, de 80 à 90; avec la machine magnéto-électrique de Méritens, de 80 à 85. Ces chiffres sont des moyennes obtenues en mesurant l'intensité lumineuse de la source pour différentes directions au-dessus et au-dessous de l'horizon, dans un même azimut. Il s'est décidé pour le dernier système de machines magnéto-électriques, à cause de la simplicité de la marche.

M. Ayrton (Grande-Bretagne) insiste sur la nécessité d'éviter toute confusion en déterminant la force motrice absorbée aux différents points du circuit. La mesure de la force électromotrice entre les pointes de charbon permet de connaître la dépense de force correspondant au phénomène lumineux. Un galvanomètre placé sur le circuit au sortir de la machine électrique permettra de calculer la force motrice correspondante, et un dynamomètre placé sur l'arbre de la machine à vapeur indiquera le nombre de chevaux produits.

Il émet l'avis que la discussion actuelle soit renvoyée après l'examen des questions concernant la transmission des forces par l'électricité, de manière que la comparaison puisse porter sur l'ensemble des applications des machines et non pas uniquement sur les phénomènes lumineux.

M. Jablochkoff (Russie) présente quelques observations sur la rédaction du programme soumis à la Section, et désirerait voir certains membres présents donner des explications à ce sujet.

M. Bède se rallie aux propositions de M. Ayrton et de M. Jablochkoff.

M. Joubert (France) prend la parole comme membre de la commission qui a préparé le programme du Congrès. Il n'a jamais été dans l'idée des membres de cette commission de faire décider par le Congrès que telle machine était supérieure à telle autre, mais uniquement d'attirer son attention sur une étude impartiale dont l'industrie et la science doivent également profiter.

M. Hospitalier (France) combat la proposition de M. Ayrton. L'exemple des machines Brush, sur lesquelles on intercale jusqu'à 40 lampes dans le même circuit, montre qu'il y a lieu d'examiner les conditions d'emploi des machines électriques au point de vue de la sécurité publique. Il n'est donc pas nécessaire d'avoir à examiner la question du transport électrique des forces pour continuer dès maintenant la discussion ouverte.

M. le Président, vu l'heure avancée, clôt la discussion et annonce que la Section se réunira le lundi 19, à quatre heures, pour discuter, suivant la motion de M. Ayrton, le paragraphe 2, ainsi conçu :

« Emploi de l'électricité pour la transmission des forces à distance; faits connus et résultats acquis; difficultés à résoudre; utilisation des forces naturelles au moyen de l'électricité; applications diverses. »

La séance est levée à cinq heures quarante-cinq minutes.

ANNEXE I

EXTRAIT D'UNE LETTRE DE M. DE FONVIELLE

A M. LE MINISTRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES

Vous savez, monsieur le ministre, que la valeur des câbles sous-marins s'élève actuellement à plusieurs milliards de francs et que, dans l'état actuel de la législation internationale, cette propriété si précieuse est très imparfaitement protégée en temps de paix, et qu'en cas de guerre, elle se trouve entièrement à la merci des puissances belligérantes.

Il suffit qu'un croiseur promène ses dragues au fond de l'Océan sur le parcours des grands câbles télégraphiques pour anéantir en quelques jours le fruit de tant de science et de tant de travaux qui feront l'éternel honneur de notre siècle.

Aucune puissance humaine autre qu'un accord probable des nations, mettant au ban de l'humanité un tel forfait, ne pourrait empêcher de si épouvantables profanations.

Il ne me paraît pas possible, monsieur le Ministre, qu'une puissance qui, comme la France, a la prétention d'avoir placé sur des bases rationnelles les fondements de sa constitution, puisse convoquer un Congrès d'électricité sans se préoccuper d'aussi grands intérêts, dont l'importance morale est beaucoup plus grande encore que l'importance matérielle.

En effet, il est facile de se représenter l'étendue du trouble qui serait apporté dans les relations internationales, si, à la suite d'une grande guerre maritime, qui, malheureusement, peut éclater d'un moment à l'autre, toutes les communications transocéaniques se trouvaient subitement arrêtées.

Il peut arriver qu'une tentative de réglementation internationale des intérêts sous-marins échoue; mais, même dans le cas où un échec serait possible, serait-ce une raison pour ne pas tenter de mettre sous l'égide du droit ces chefs-d'œuvre de la civilisation moderne, dont l'inauguration a excité un si légitime enthousiasme.

Je viens donc vous demander, monsieur le Ministre, tant en mon nom qu'en celui des personnes intéressées, de vouloir bien nommer une commission chargée de proposer au Congrès d'électricité une série de résolutions de nature à être présentées aux divers gouvernements, pour empêcher qu'il dépende du caprice d'un ministre de faire détruire les câbles sous-marins par un de ses croiseurs.

Comme les adversaires de cette mesure pourraient peut-être objecter qu'on aurait l'air de prendre l'alarme et de croire à l'imminence d'une crise que tous les amis de l'humanité doivent essayer de conjurer, je crois, monsieur le Ministre, qu'il serait peut-être bon d'étendre la compétence de cette commission à une enquête sur l'état de la législation internationale régissant les

câbles sous-marins en temps de paix, laquelle est dans un état tout à fait rudimentaire et appelle au plus haut degré l'attention des diplomates.

En effet, en dehors des questions soulevées fatalement par l'état de guerre, il y en a d'autres moins graves, il est vrai, mais dont la solution est beaucoup plus urgente, car ce n'est pas seulement dans des crises exceptionnelles qu'elles peuvent donner lieu à de graves accidents.

Tous les jours, des intérêts très sérieux se trouvent lésés par l'état d'incertitude des droits de chacun.

Je pourrais, s'il était nécessaire, apporter la preuve que les compagnies chargées de la pose et de la réparation des câbles se plaignent de ce que le code des signaux maritimes universels ne renferme pas de signes conventionnels spéciaux, de nature à indiquer la situation des navires en train de procéder à ces manœuvres si périlleuses, et que les obligations des steamers et des voiliers ne sont point nettement déterminées.

Je ne me dissimule pas, monsieur le Ministre, les difficultés de la tâche que je prends la liberté de vous demander d'accepter au nom d'un des intérêts les plus grands et les plus sérieux de notre siècle; mais la longue carrière que vous avez parcourue autorise à penser que vous ne reculerez jamais devant l'accomplissement d'une tâche, quand elle se présentera comme un devoir vis-à-vis de la France et même vis-à-vis de l'humanité; car vous savez bien que personne n'oserait de longtemps l'entreprendre, si vous aviez hésité à vous en charger dans les conditions particulièrement favorables à son accomplissement.

Il est probable que la solution de toutes ces différentes questions réclamera le concours de membres appartenant à plusieurs départements ministériels, mais il me semble qu'il appartient au Ministre des Affaires Étrangères de donner de l'impulsion à une tentative dont le but serait de faire descendre jusqu'au fond des océans la protection des principes que l'immortel Grotius, le fondateur du droit international moderne, a essayé de faire régner à leur surface et que les philosophes de l'antiquité grecque et latine ont commencé à élucider sous le nom de droit des gens.

TROISIÈME SÉANCE

19 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. SPOTTISWOODE

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à quatre heures.

M. le lieutenant-colonel SEBERT (France), *secrétaire*, donne lecture du procès-verbal de la première séance.

Le procès-verbal est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la troisième Section qu'il a reçu de Londres des nouvelles qui l'obligeront à retourner prochainement en Angleterre. Il rappelle à la Section qu'avant de l'appeler à la présidence elle avait porté son choix sur M. Hughes; c'est uniquement à titre de président de la Société royale de Londres que M. Spottiswoode a cru devoir accepter l'honneur qui lui était fait. Aujourd'hui qu'il se voit forcé d'y renoncer, il prie la Section de revenir à son premier choix, si bien justifié, et, le jour où il sera forcé de quitter le fauteuil, de nommer M. Hughes à sa place.

La discussion est ouverte sur la deuxième question du programme : *Transmission des forces à distance par l'électricité.*

M. AYRTON (Grande-Bretagne) dit que la question de la transmission des forces par l'électricité est sortie des expériences de laboratoire pour entrer dans la pratique; le premier point qui frappe dans cette question, c'est la petitesse des rendements généralement obtenus, une proportion de 60 pour 100 étant considérée comme favorable, bien que la théorie conduise à admettre un rendement presque parfait.

En appelant E la force électromotrice, C le courant produit, et en négligeant les frottements, le travail de la machine génératrice sera représenté par le produit CE; le travail réellement fourni sera à la vérité Ce, e étant la force électromotrice opposée du moteur électrique. Le rendement est donc égal au rapport $\frac{e}{E}$.

Si R est la résistance totale du circuit, la quantité de travail absorbée C^2R pourrait être théoriquement diminuée indéfiniment sans que le rapport $\frac{e}{E}$ variât; mais il faut alors, pour que CE et Ce conservent une grande valeur, que les forces électromotrices du générateur et du moteur soient très grandes. C'est la première condition de la transmission économique de la force.

M. Ayrton rappelle qu'il a donné une méthode pour mesurer les rendements respectifs des générateurs et des moteurs dynamo-électriques, et qu'il a démontré que, quoique MM. Schwendler, Hopkinson, etc., aient trouvé un rendement de 90 pour 100 pour les générateurs, la moitié de l'énergie était employée à l'échauffement de la machine elle-même, et que, si l'on essayait d'augmenter le rendement en intercalant presque toute la résistance dans un circuit externe, le courant devenait alors trop faible pour aimanter les électro-aimants du générateur et, à l'arrivée, ceux du moteur. Ce qui conduit à la seconde condition nécessaire pour la transmission économique de la force, condition sur laquelle depuis plus de deux ans MM. Ayrton et Perry insistent, et qui est de se servir d'excitateurs séparés pour aimanter les électro-aimants des deux machines.

Les faibles courants présentent encore un avantage : on sait, en effet, qu'il faut ajouter à la perte de travail qui résulte de la résistance des fils celle qui provient de la naissance de courants d'induction dans les pièces métalliques de la machine. M. Frölich s'est beaucoup étendu, dans ses *Mémoires*, sur la présence de ces courants dans le noyau de l'anneau tournant. M. Ayrton soumet au Congrès l'hypothèse suivante : Ne se produit-il pas également des courants d'Ampère dans les noyaux mêmes des électro-aimants, et ne serait-il pas, en conséquence, nécessaire de les construire en fil de fer doux d'un très petit diamètre, exactement comme ceux de la bobine, de manière que, vu le faible nombre des spires, il fallût une variation importante de la puissance du champ magnétique pour déterminer dans les noyaux des courants d'induction? Il considère, en effet, qu'en supprimant l'effet de ces courants secondaires, on pourrait arriver à diminuer l'intensité du courant principal. Comme il a, du reste, expliqué plus haut l'avantage des faibles courants, il demande au Congrès d'étudier en définitive les moyens de diminuer l'intensité sans faire varier l'énergie transmise.

Pour la mesure de cette énergie, il propose l'emploi d'un dynamomètre de transmission au générateur et d'un dynamomètre d'absorption au moteur, afin qu'on puisse se rendre compte sans calculs de la valeur du rendement de chacune des machines.

M. Ayrton, en terminant, rend hommage aux beaux travaux de M. Marcel Deprez sur cette question.

M. Witmeur (Belgique), rappelant le vœu émis dans la dernière séance, de charger une Commission internationale d'examiner les divers procédés photométriques, appelle l'attention de la Section sur la nécessité de déterminer aussi le moyen le plus exact, pratiquement, d'évaluer la force mécanique absorbée par les machines magnéto et dynamo-électriques.

Cet élément est des plus importants pour la détermination du prix de revient de la lumière électrique, duquel dépend la généralisation pratique et avantageuse de l'usage de celle-ci. Il l'est également au point de vue de la transmission de la force par l'électricité; selon l'orateur, celle-ci ne paraît pas, quant à présent, pouvoir s'appliquer à la motion mécanique des ateliers, où la machine à gaz et certains types de générateurs de vapeur sont employés économiquement et sans inconvénients; mais elle paraît devoir être sérieusement examinée, lorsque, entre la machine à vapeur et l'outil, un moteur intermédiaire est nécessaire; c'est le cas notamment dans le creusement des roches, pour les percements des tunnels et des travaux d'exploitation des mines. Ici encore, la question du rendement est essentielle, et elle dépend du travail mécanique absorbé et utilisé.

Actuellement, on évalue souvent le travail absorbé par les machines dynamo-électriques en se basant sur le travail *indiqué* dans le cylindre de la machine à vapeur, relevé par diagramme, ou bien même lorsque l'on emploie des moteurs à gaz, par la consommation de gaz effectuée dans ceux-ci.

L'évaluation dont il s'agit devrait être absolument indépendante du moteur mécanique qui active la machine magnéto-électrique et se faire avec plus de précision; à cet effet, il faudrait, dans tous les cas, la relever sur la courroie qui fait mouvoir celle-ci. Cette détermination est assez délicate; divers appareils ont été proposés; l'Exposition en renferme notamment plusieurs : ceux de MM. Farcot, Von Heffner, Ayrton et Raffard. Il serait utile de les examiner, en même temps, du reste, que les autres déjà connus ou qui viendraient à se produire.

M. Witmeur croit qu'à cette fin il conviendrait :

1° Que la Commission internationale chargée d'examiner les méthodes photométriques étudie aussi la question suivante : « Déterminer le moyen pratique le plus exact d'évaluer la force transmise par une courroie à une machine magnéto-électrique; »

2° Que dès maintenant des expériences soient effectuées sur les différents appareils dynamométriques exposés.

M. Marcel Deprez (France) s'est proposé de calculer dans quelles conditions on pourrait transmettre une force donnée à grande distance avec une faible intensité de courant.

Il prend comme exemple la machine Gramme type C, expérimentée à Chatham et qui a donné les résultats suivants :

Nombre de tours par minute	1200
Intensité du courant, webers	81,22
Force électromotrice, volts	69,9
Travail absorbé en kilogrammètres par seconde	579
Travail par tour en kilogrammètres	29
Résistance des inducteurs, ohms	0,15
Résistance de l'anneau, ohms	0,06

Supposons maintenant, dit M. Deprez, que nous donnions au fil des inducteurs et de l'anneau une section égale à la cinquantième partie de la section primitive : je dis que leur résistance deviendra 2500 fois aussi considérable. En effet, le total du fil ne changeant pas, sa longueur deviendra 50 fois aussi considérable ; mais comme sa section est, d'autre part, 50 fois moindre, sa résistance deviendra $50 \times 50 = 2500$ fois aussi grande. Nous avons donc :

	Ohms.
Résistance des inducteurs	375
Résistance de l'anneau	150
	525

Si nous avons deux machines semblables, l'une génératrice, l'autre réceptrice, placées aux extrémités d'un fil télégraphique ordinaire, en fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre et de 50 kilomètres de longueur, la résistance totale se décomposera ainsi qu'il suit :

	Ohms.
Machine génératrice	525
Ligne (50×9)	450
Machine réceptrice	525
	1500

Pour que le champ magnétique ait la même valeur que dans les expériences de Chatham, il faut que le produit du nombre de tours du fil inducteur par l'intensité du courant reste le même. Or, le fil inducteur ayant une section 50 fois moindre et occupant le même volume, a une longueur et par suite un nombre de tours 50 fois aussi considérable ; par conséquent, l'intensité du courant nécessaire à la production du champ magnétique doit être

réduite à $\frac{1}{50}$ de sa valeur primitive ($81^{webers},22$) soit à $1^{weber},624$. La force électromotrice nécessaire pour produire cette intensité dans le circuit total est égale à $1624 + 1500 = 2437$ volts. Or, le fil de l'anneau faisant autour de ce dernier 50 fois autant de tours que dans la machine de Chatham, la force électromotrice dont il est le siège devient aussi 50 fois aussi grande à vitesse égale; elle serait donc à la vitesse de 1200 tours par minute égale à $69,9 \times 50 = 3495$ volts.

Mais comme nous n'avons besoin que d'une force électromotrice de 2437 volts (la machine réceptrice étant immobile), la vitesse devra être réduite dans le rapport de 2437 à 3495; elle sera donc égale à $1200 \times \frac{2437}{3495}$ tours par minute $= 835,5$.

Quant à la dépense d'énergie nécessaire pour entretenir ce courant, elle aura pour expression $\frac{EI}{g}$, soit $\frac{2437 \times 1624}{9,81} = 403$ kilogrammètres par seconde.

Le nombre de tours du fil des inducteurs et du fil des induits étant 50 fois aussi grand que dans la machine de Chatham, et le courant étant 50 fois moindre, les efforts mécaniques développés entre les inducteurs et les induits sont restés les mêmes, c'est-à-dire que si on laissait tourner la seconde machine en maintenant constante l'extrémité du courant (1 weber, 624), elle développerait 29 kilogrammètres par tour.

Par conséquent, si nous voulons qu'elle développe un travail de 10 chevaux-vapeur, ou 750 kilogrammètres par seconde, elle devrait faire $\frac{750}{29}$ tours par seconde, soit $\frac{750 \times 60}{29} = 1552$ tours par minute.

Mais il faut, pour que l'intensité du courant reste constante, que la différence des vitesses des deux machines soit aussi constante. La vitesse de la machine devra donc être égale à $1552 + 835 = 2387$ tours par minute.

Je rappelle d'ailleurs que les efforts mécaniques des deux machines sont égaux et indépendants de leur vitesse, le courant restant constant. La machine génératrice absorbera donc aussi 29 kilogrammètres par tour ou par seconde $\frac{29 \times 2387}{60} = 1154$ kilogrammètres par seconde, ou $15^{chevaux},4$.

Le rendement économique, c'est-à-dire le rapport du travail restitué par la seconde machine au travail absorbé par la première, aura pour expression

$$\frac{29 \times 1552}{29 \times 2378} = \frac{1552}{2378} = 65 \text{ pour } 100.$$

Le travail total de 1154 kilogrammètres par seconde, absorbé par la génératrice, se décompose ainsi qu'il suit :

	Kilogrammètres par seconde.
Travail développé par la machine réceptrice	750
Énergie calorique développée dans la totalité du circuit . .	403
Total.	1153

Si nous voulions savoir comment est reporté le travail absorbé par l'échauffement du circuit, nous pourrions le calculer directement par la formule $\frac{RI^2}{g}$ qui nous donnerait :

Pour la machine génératrice :

Kilogrammètres par seconde.

$$\frac{525 \times \overline{1,624}^2}{9,81} = \ldots \quad 141$$

Pour la machine réceptrice :

$$\frac{525 \times \overline{1,624}^2}{9,81} = \ldots \quad 141$$

Pour le fil extérieur :

$$\frac{450 \times \overline{1,624}^2}{9,81} = \ldots \quad 121$$

$$403$$

On voit donc qu'il est possible, avec deux machines identiques du type C, de transmettre un travail utile de dix chevaux à 50 kilomètres de distance au moyen d'un fil télégraphique ordinaire, la force motrice initiale étant d'environ seize chevaux.

M. Cabanellas (France) dit que le fait déjà connu et cité par M. Deprez, qu'un moteur électrique, dont l'arbre est muni d'un frein développant un couple résistant constant, est traversé par une intensité constante, lui paraît pouvoir être expliqué par une nécessité mécanique trop simple pour avoir besoin d'une sanction expérimentale. Il n'est que l'expression de l'état d'équilibre dynamique qui est supposé établi. En effet, puisque cet équilibre est établi, cela veut dire, pour cette machine comme pour toute autre, que son couple moteur égale son couple résistant, et comme chaque intensité déterminée qui passe par une machine donnée, au repos ou en marche, développe un couple mécanique absolument déterminé, l'intensité est évidemment déterminée parce que le couple méca-

nique est déterminé, c'est la valeur du couple constant du frein. C'est de ce fait que M. Cabanellas a déduit une méthode simple pour calculer les éléments électriques d'une machine correspondants à chaque régime de la machine (allure et intensité). A cet effet, il emploie la machine d'abord comme générateur en la faisant tourner à un nombre N de tours sur un circuit de résistance arbitraire. On observe dans ces conditions, par lecture aux galvanomètres usuels, la différence de potentiel aux bornes ε et l'intensité I du courant. On fait alors travailler la machine comme moteur en réglant à l'aide du frein jusqu'à ce que l'intensité du courant soit I; puis on fait varier la source électrique jusqu'à ce que le nombre de tours soit N, et l'on observe la différence de potentiel aux bornes ε'.

La première expérience donne l'équation :

$$E = \varepsilon + rI;$$

la seconde, l'équation :

$$E = \varepsilon' - rI,$$

d'où l'on déduit les éléments E et r de la machine.

$$E = \frac{\varepsilon' + \varepsilon}{2}$$

$$r = \frac{\varepsilon' - \varepsilon}{2}$$

On peut remarquer que le rapport $\frac{\varepsilon}{\varepsilon'}$ donne la valeur du rendement relatif individuel à ce régime, le type étant employé à la fois comme élément source et récepteur. Il est bien entendu que la résistance intérieure d'une machine varie avec le régime (intensité-allure), non seulement parce que ce régime détermine la température de son fil, mais en outre, que la résistance varie avec l'allure elle-même, pour une même température, comme M. Cabanellas l'a démontré par des expériences directes.

M. Joubert demande à faire une observation sur la proposition énoncée par M. Cabanellas : que la résistance intérieure d'une machine varie avec l'allure de cette machine. Ce résultat n'est qu'une apparence; la résistance d'un fil est une valeur invariable tant que la température reste constante. M. Cabanellas a fait usage d'une machine de Gramme, appareil dans lequel le courant n'est pas absolument constant, mais présente des oscillations qui dépendent du nombre des torons de la machine. Ces variations produisent dans la bobine des courants d'induction dont l'effet variable avec la vitesse est équivalent à une augmentation de résistance, bien que celle-ci conserve au fond la même valeur.

M. Cabanellas est d'avis avec M. Joubert que la résistance d'un fil est en effet une valeur qui ne dépend que de la température; mais dans la pratique les machines se comportent comme si leurs résistances variaient; le plus simple est de représenter l'effet total par un seul nom, qu'on peut appeler « résistance intérieure ».

M. Joubert dit qu'il n'a pris la parole que pour éviter une confusion de mots. Il croit que, dans la pratique, il vaut mieux, au lieu d'une formule empirique, employer la formule vraie, qui rend compte de l'effet sans altérer la notion de la fixité de la résistance. Cette formule, simple d'ailleurs, a été appliquée par l'orateur aux expériences mêmes de M. Cabanellas, et lui a fourni des résultats complètement d'accord avec ceux de M. Cabanellas.

M. Cabanellas dit qu'il persiste à trouver plus simple de laisser à la résistance intérieure l'accroissement qui permet d'appliquer directement les formules usuelles de Ohm et de Joule. Ce moyen est aussi plus exact, puisqu'il totalise expérimentalement les différentes influences effectives, y compris celle de la température.

Quant à l'expression « augmentation de résistance intérieure », elle est certainement sans danger, puisque les travaux de MM. Jamin et Roger l'ont déjà acclimatée dans la science depuis longtemps. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome LXVI. — *Expériences sur les machines à courants alternatifs de l'Alliance.*)

M. le lieutenant-colonel Sebert, *secrétaire*, donne lecture du procès-verbal de la deuxième séance, dont la rédaction est adoptée après quelques rectifications.

M. Schoolbred (Grande-Bretagne) appelle l'attention de la Section sur certaines particularités relatives aux meilleures conditions à réunir dans la transmission de la force à distance par l'électricité. Il croit que, pour cet objet spécial, il serait préférable d'employer deux machines magnéto ou dynamo-électriques de force électromotrice différente.

M. Tchikoleff (Russie) dit que M. Ayrton a proposé depuis longtemps d'exciter extérieurement les générateurs. D'après les expériences que l'orateur a faites d'abord sur ses lampes et tout récemment sur une pompe élévatoire, il a trouvé que les résultats pouvaient varier suivant la puissance relative de la machine excitatrice et de la machine motrice. Il appelle l'attention de la Section sur la recherche de la relation précise qui doit exister entre les deux machines pour obtenir l'effet maximum.

M. Neujean (Belgique) demande que l'on étudie la transmission électrique des images à distance par les miroirs vibrants.

M. Marcel Deprez (France) fait remarquer que, dans l'expérience

calculée qu'il a présentée à la Section, l'introduction de la machine excitatrice n'introduirait qu'une diminution insignifiante de résistance.

En ce qui concerne l'augmentation apparente de résistance des machines, s'il existe dans le circuit une source contre-électromotrice, son action peut toujours être représentée par l'introduction d'une résistance dont la valeur peut être facilement calculée.

On peut en effet poser

$$\frac{E-e}{R}=\frac{E}{R+x},$$

d'où

$$x=\frac{Re}{E-e}.$$

L'orateur signale également, pour la mesure du travail absorbé par les machines, un dispositif qu'il a imaginé. Il consiste à rendre mobile le bâti qui porte les électro-aimants inducteurs. L'effort d'entraînement exercé par la bobine sur ce bâti mesure exactement le travail dépensé. On peut peser cet effort en maintenant en place le bâti mobile à l'aide d'un levier chargé d'un poids. Ce moyen serait inapplicable avec des machines de grande dimension, mais il est d'un très bon usage avec les modèles actuels.

M. Witmeur, rappelant les considérations qu'il a exposées au début de la séance, dépose sur le bureau la proposition suivante :

« Le Congrès émet le vœu :

« 1° Que la Commission internationale chargée d'étudier les méthodes photométriques étudie aussi la question suivante :

« *Déterminer le moyen pratique le plus exact d'évaluer la force transmise à une machine génératrice d'électricité;*

« 2° Qu'une Commission de sept membres soit nommée pour examiner et expérimenter les divers appareils dynamométriques exposés, et indiquer au Congrès celui qui lui paraîtra préférable. »

M. E. Becquerel (France), *vice-président*, fait remarquer que la deuxième partie de la proposition porte sur des travaux qui rentrent dans les attributions du Jury.

M. Bède (Belgique) propose l'amendement suivant :

« Le Congrès émet le vœu que le Jury fasse des expériences sur les différents appareils dynamométriques exposés. »

Le 1er paragraphe de la proposition de M. Witmeur est adopté.

Le 2e paragraphe est adopté conformément à l'amendement de M. Bède.

La séance est levée à six heures cinq minutes.

QUATRIÈME SÉANCE

22 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. HUGHES

M. LE VICE-PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à quatre heures cinq minutes.

M. BELPAIRE (Belgique), *vice-président*, annonce le départ de M. Spottiswoode, président de la Section, et propose de lui donner comme successeur M. Hughes, selon le vœu exprimé par M. Spottiswoode lui-même, à la dernière séance.

M. HUGHES (Grande-Bretagne) est nommé président à l'unanimité.

M. Hughes prend place au fauteuil et demande à la Section de voter des remerciements à M. Spottiswoode. Cette proposition est adoptée par acclamation.

M. LE PRÉSIDENT lit une lettre de M. Becquerel, vice-président, s'excusant de ne pouvoir assister à la séance.

M. le lieutenant-colonel SEBERT (France), *secrétaire*, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, qui est adopté.

M. Sebert lit la communication suivante du Bureau relative à l'admission du public aux séances du Congrès.

« Les propositions faites au Congrès par M. le Ministre, président, dans la séance d'hier 21 septembre, relativement à l'organisation de séances publiques, ayant provoqué des demandes d'éclaircissement de la part d'un certain nombre de membres de la troisième Section, le Bureau a pris des renseignements à ce sujet auprès de M. le Commissaire général, et se trouve en mesure de porter à la connaissance de la Section les indications suivantes sur la nature et la portée précises de cette mesure :

« Les questions qui, dans le projet de programme servant de base aux travaux du Congrès, avaient paru devoir donner lieu à une entente internationale et qui, par la nature délicate des discussions qu'elles pouvaient soulever, ne pouvaient être traitées qu'en présence des seuls délégués des

différentes puissances représentées au Congrès, se trouvant à peu près toutes épuisées, M. le Président a pensé que le moment était venu de rendre publiques les séances du Congrès ; et cette proposition était d'autant mieux justifiée que le Congrès peut être considéré comme ayant terminé la majeure partie de ses travaux scientifiques ; et que les questions qui restent encore à traiter et qui sont inscrites aux programmes des deuxième et troisième Sections concernent plus spécialement les applications usuelles et industrielles de l'électricité, et présentent, par suite, pour le public un intérêt spécial.

« Mais il est bien entendu que la décision prise par le Congrès, pour l'admission du public aux séances plénières qui seront consacrées à ces discussions, laisse entière la liberté des Sections en ce qui concerne la suite de leurs travaux particuliers, et qu'il leur sera loisible de continuer à huis clos les discussions des questions susceptibles de faire l'objet d'une entente internationale, et spécialement, en ce qui concerne la troisième Section, la suite de la discussion sur les procédés photométriques et la mesure des intensités lumineuses.

« Quant aux autres questions qui n'ont pas ce même caractère scientifique, il convient, pour se conformer à la décision du Congrès, d'en renvoyer la discussion aux séances plénières.

« Le Bureau doit ajouter, en ce qui concerne l'organisation de ces séances publiques, qu'il est entendu que le public ne sera admis dans la salle du Congrès que dans la limite des places disponibles, et seulement comme auditeur, sans préjudice toutefois du droit laissé au Bureau d'inviter à prendre la parole les savants étrangers au Congrès qui lui apporteront d'utiles renseignements. »

M. le Président ouvre la discussion sur la question de l'étalon lumineux et de la photométrie, qui a été renvoyée à la Section par l'assemblée plénière.

M. Violle (France) trouve que la lampe de Fresnel, telle qu'elle avait été disposée par MM. Dumas et Regnault, était un étalon parfait pour l'usage auquel il était destiné dans le principe. Il est assez constant pour que ses variations soient négligeables vis-à-vis des erreurs de la pratique courante. Il est d'une grandeur comparable à celle des sources à étudier : lampes à huile ou becs de gaz. Enfin il possède une lumière spectrale analogue à celle des lampes qu'on lui comparait. Pour la lumière électrique, il faudrait trouver un étalon présentant les mêmes propriétés essentielles. Il propose, à cet effet, la lumière émise par un centimètre carré de platine à la température de fusion de ce métal. Cet étalon posséderait, en effet,

une constance absolue, ainsi que la quantité et la qualité nécessaires. Il est d'ailleurs d'une réalisation facile et pourrait aisément être amené à une forme absolument pratique.

M. Schoolbred (Grande-Bretagne) croit qu'on n'a pas fait assez de distinction entre l'arc voltaïque et la lumière par incandescence qui est, d'après lui, l'éclairage de l'avenir, à cause de l'entretien des charbons des autres lampes. Pour ce qui est des étalons lumineux, il rappelle qu'en Angleterre, et notamment dans le service des phares, on emploie soit des bougies, soit des lampes, dont la valeur photométrique est exprimée en bougies. La bougie lui paraît plus constante, et n'a pas le désavantage d'un mécanisme compliqué. Quand il s'agit d'arc voltaïque, il est nécessaire de noter la direction suivant laquelle on a fait l'observation photométrique; il faut bien remarquer que les rayons horizontaux ne donnent pas l'effet économique du foyer, c'est-à-dire l'éclairement du sol. La lampe à incandescence a l'avantage de donner une intensité lumineuse égale dans toutes les directions.

Il termine en donnant quelques chiffres sur les rendements qu'il a obtenus en se servant de machines dynamo-électriques.

M. Tchikoleff (Russie) fait valoir les avantages de l'étalon Schwendler, qui peut être reproduit très simplement dans tous les pays, tandis que la lampe Carcel exige l'emploi d'une huile, d'un mécanisme et d'une mèche toujours identiques, conditions difficiles à réaliser.

M. Flamache (Belgique) propose comme étalon la lumière du magnésium.

M. Macé de Lépinay (France) fait remarquer qu'il est impossible de comparer avec précision deux lumières dont la nuance diffère très notablement. Il cite à ce sujet les travaux de M. Helmholtz. La difficulté provient de la sensibilité variable de la rétine pour les diverses couleurs.

M. Crova (France) distingue trois types d'étalons. La bougie lui paraît complètement condamnée. Tandis que deux lampes Carcel très différentes, comparées pendant une heure, donnent entre leurs indications des variations de 2 à 3 pour 100 au plus, on trouve quelquefois, d'après les expériences de M. Schwendler, dans l'éclat des bougies étalons, des variations de 40 pour 100. Ces variations tiennent surtout à la difficulté qu'on éprouve de maintenir toujours la mèche à la même place dans la flamme, et d'éviter tout courant d'air. Selon lui, la lampe Carcel ne peut pas être présentée comme le meilleur, mais bien comme le moins mauvais des étalons.

Les étalons basés sur l'incandescence du platine ont d'abord ce grand

défaut, qu'en admettant même que la lame de platine ait toujours le même poids, les mêmes dimensions, et que son pouvoir émissif ne change pas, conditions qu'il est à peu près impossible de réaliser, il faudrait entretenir cette lame à une température absolument constante, parce que, à des variations très faibles dans l'échauffement de la lame correspondent des variations très notables dans son éclat. Enfin il faut assurer la fixité du courant, et, pour cela, surveiller un galvanomètre et manœuvrer un rhéostat.

Si, comme l'a proposé M. Violle, on employait comme étalon une masse de platine fondu, les différences d'éclat déjà signalées viendraient altérer les mesures dans une très forte proportion, à cause de la difficulté qu'il y aurait à maintenir le platine fondu à une température invariable, constamment égale à celle de sa solidification.

Pour apporter plus de précision dans la discussion, M. Crova demande que l'on discute d'abord la question du choix d'un étalon, abstraction faite de l'évaluation des teintes et du procédé photométrique.

M. Violle fait remarquer qu'il prend le platine au moment de sa solidification et que la chaleur latente maintient la température constante pendant un certain temps, de sorte qu'il est parfaitement possible de faire une bonne mesure photométrique.

Il en a eu maintes fois la preuve expérimentale.

M. le Président prie la Section de procéder d'abord à la discussion sur la question de l'étalon lumineux, comme l'a proposé M. Crova.

M. Werner Siemens (Allemagne) a trouvé qu'une lampe bien entretenue donne des effets assez satisfaisants, mais cela dépend de la construction de la lampe et de la manière de s'en servir. La bougie est peu à recommander, il est vrai, à cause des précautions qu'elle exige, mais en opérant avec ces précautions on arrive à réduire les variations dans son éclat à 5 pour 100; comme cependant elle est généralement en usage dans les usines à gaz anglaises, allemandes et russes, il serait peut-être téméraire d'en proscrire l'usage. Il reconnaît cependant, avec M. Violle, que le platine pur, à son point de fusion, fournirait un bon étalon absolu, mais difficile à généraliser dans la pratique. Il croit que ce qu'il y aurait de plus immédiatement utile, ce serait d'établir les coefficients permettant de comparer les mesures faites avec les différents étalons en usage.

M. le Dr Gladstone (Grande-Bretagne) pense qu'on peut diminuer beaucoup les erreurs provenant de la sensibilité inégale de la rétine pour les diverses couleurs du spectre, en plaçant la lumière à étudier à une assez grande distance du photomètre pour que la notion des couleurs disparaisse.

M. Helmholtz (Allemagne) cite, à propos des changements d'éclat lumineux produits par la température, les principes posés par M. Kirchhoff. Cette loi est générale pour tous les corps. Si l'on fait varier graduellement la température d'un corps ayant un pouvoir absorbant absolu, la lumière qu'il émet est d'abord rouge, puis son spectre devient de plus en plus complet; et si on avait, par exemple, une lampe dont la température serait constante, son intensité lumineuse serait également constante. On peut dire, d'une manière générale, que les changements de température d'un corps sont traduits par des changements de couleur, et réciproquement. On pourrait donc employer, pour étudier une source lumineuse, un appareil qui a servi dans le laboratoire de M. Helmholtz pour certaines expériences comparatives. Cet instrument, désigné sous le nom de *leucoscope*, se compose d'un tube dans lequel se trouvent successivement : une fente, un rhomboèdre biréfringent, une série de lames de quartz, un compensateur à épaisseur variable et enfin un nicol. On observe ainsi deux images juxtaposées de la fente; l'emploi des lames de quartz et du compensateur permet de produire dans le spectre d'une de ces deux images trois bandes d'absorption éliminant le rouge, le vert et le violet. Un effet complémentaire se produit dans l'autre image, où le jaune et le bleu sont éliminés. On obtient ainsi deux images blanchâtres, et d'une coloration presque égale.

La position du cercle divisé qui porte le nicol indique l'angle dont il a fallu le faire tourner pour ramener les deux images à être l'une et l'autre très voisines du blanc. Quand on étudie deux sources lumineuses de coloration différente, ou les variations de teinte d'une même source, la position qu'il faut donner au nicol sert de mesure à ces variations mêmes. Au moyen de cet appareil, les changements de coloration s'apprécient avec une extrême sensibilité. Des expériences sur l'incandescence du platine ont été faites au laboratoire de Berlin à l'aide du leucoscope. Les principes donnés par M. Kirchhoff ont été confirmés.

M. Cornu (France) dit qu'il y a deux choses principales à considérer dans le choix d'un étalon : 1° sa fixité; 2° sa qualité. Pour la mesure de la lumière électrique il faut choisir un étalon qui donne beaucoup de radiations réfrangibles, ce qui n'est pas du tout le cas des lumières obtenues par la combustion du charbon soit dans une lampe, soit dans une bougie.

La proposition que vient de faire M. Violle, tendant à faire adopter le platine en fusion comme étalon de lumière, indique bien la direction dans laquelle il faut faire les recherches. Un métal en fusion présente, en effet, les deux qualités requises. M. Cornu croit que, dans certains cas, l'argent serait peut-être préférable au platine, à cause de sa grande conductibilité,

de la facilité avec laquelle on l'obtient pur, de son prix relativement moins élevé, et de sa fusibilité beaucoup plus grande. Ces étalons métalliques offrent en outre, au point de vue théorique, l'avantage de pouvoir être considérés comme des étalons absolus. Le principe sur lequel ils s'appuient est invariable, et se rattache directement à un de ces repères fondamentaux qui servent de base à la thermométrie.

M. Tchikoleff propose de faire, pendant la durée du Congrès, des expériences pour constater la fixité de l'étalon Schwendler.

M. le colonel Webber (Grande-Bretagne) croit que les avantages de la bougie maintiendront pendant longtemps son usage dans la pratique; d'ailleurs les expériences photométriques qu'il a faites pendant six mois à l'Exposition de 1867 n'ont pas accusé les différences de 40 pour 100 indiquées par M. Crova dans l'éclat des bougies : il demande à ce qu'une Commission internationale fixe les coefficients comparatifs des divers étalons.

M. le Président Hughes dit que l'ordre du jour est encore très chargé, et prie la Section de remettre la suite de la discussion au lendemain vendredi à quatre heures.

La séance est levée à cinq heures quarante-cinq minutes.

CINQUIÈME SÉANCE

23 septembre 1881

PRÉSIDENCE DE M. HUGHES

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à quatre heures cinq minutes.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu communication d'une lettre adressée à M. le Commissaire général par M. Chwab, chimiste, sur la production économique de l'électricité.

M. le Président ouvre la discussion sur la question des mesures photométriques, déjà reprise dans la séance précédente.

M. Félix LEBLANC (France) passe en revue les divers étalons de lumières qui sont employés.

La bougie est susceptible de nombreuses variations. La bougie française ancienne valait $\frac{1}{7}$ de carcel; la bougie actuelle, $\frac{1}{8}$. La bougie anglaise, en spermaceti, ne vaut que $\frac{1}{9}$ de carcel, au plus. Il faut donc définir d'abord l'origine de la bougie, et, en outre, les conditions dans lesquelles on l'emploie.

L'orateur reconnaît, toutefois, que les savants qui s'en sont servis ont pris toutes les mesures nécessaires pour la définir d'une manière aussi précise que possible.

Il remarque que cet étalon est un peu faible pour les lumières de grande intensité.

Bien que les procédés photométriques anglais et allemands puissent donner de bons résultats, il préfère la lampe Carcel sous tous les rapports. On n'a qu'à se reporter aux travaux de MM. Dumas et Regnault, pour voir que tout est prévu dans l'emploi de cette lampe.

La pratique des mesures, que le service municipal de Paris fait effectuer pour l'essai du gaz, montre que les variations de cette unité de lumière n'atteignent même pas les limites de tolérance accordée. On a parlé d'adop-

ter un nouvel étalon plus élevé et dont la coloration serait analogue à celle de la lumière électrique, par exemple : la lumière émise par un métal à son point de fusion. Cette proposition a été soutenue par MM. Violle et Cornu. M. Crova a présenté des objections. L'orateur pense que cette proposition ne repose pas sur des faits suffisamment étudiés. On a aussi indiqué l'emploi des verres colorés; mais ceux-ci absorbent des quantités notables de lumière. On pourrait se servir de lames minces de gélatine de teintes diverses, proposées par M. Mascart. Les résultats obtenus dans des expériences faites avec M. Joubert ont été à peu près identiques, avec ou sans lames colorées.

M. Warren de la Rue (Grande-Bretagne) demande que l'on aboutisse le plus tôt possible à un vote sur la question. Il propose que l'on recommande au Jury l'emploi de la lampe Carcel pour les comparaisons qu'il aura à faire.

M. J.-B. Dumas (France) reconnaît la valeur des mesures faites par les savants étrangers avec la bougie, et prie ces savants de vouloir bien reconnaître à leur tour la précision des mesures françaises.

La bougie et la lampe Carcel ont chacune leurs avantages, quand il s'agit de les comparer à des lumières peu intenses. L'une et l'autre sont trop faibles pour la lumière électrique. Les foyers de grande intensité sont exprimés à l'aide de ces unités par des nombres trop grands, dont il est difficile de se faire une idée exacte.

Il ne voudrait pas que l'on condamnât la bougie, ni que l'on condamnât le carcel; mais que l'on adoptât une unité nouvelle pour les grands foyers lumineux; M. Violle, par exemple, en a proposé une, qui est raisonnable, mais qu'il faudrait matérialiser.

Il conclut à la formation d'une Commission internationale qui serait chargée d'étudier les étalons de lumière et les procédés photométriques.

M. William Siemens (Grande-Bretagne) rappelle que M. Warren de la Rue a proposé d'admettre le carcel pour les travaux du Jury; c'est aussi son opinion. Comme M. Dumas, il reconnaît la nécessité d'unités différentes suivant les lumières. Il propose, comme étalon, un fil d'iridium d'une certaine longueur et traversé par l'unité de courant.

Il dit que la photométrie pour la lumière électrique est plus compliquée que pour les lumières ordinaires.

Ainsi une lampe rayonne dans tous les sens; son intensité présente, dans le plan horizontal passant par le foyer, un maximum qui est le même dans tous les azimuts. Mais avec une lampe électrique, le rayon d'intensité

maxima est oblique ; M. Schoolbred a étudié les intensités dans les diverses directions, et a construit la courbe de leurs valeurs.

De plus, si les deux charbons ne sont pas exactement dans le prolongement l'un de l'autre, il se forme sur le charbon négatif une surface radiante trois ou quatre fois plus intense que du côté opposé. On ne peut donc pas apprécier l'intensité sous un seul angle.

Il demande que M. Dumas veuille bien ajouter à sa proposition que la Commission internationale ait à s'occuper non seulement de l'étalon de lumière, mais encore des méthodes photométriques.

M. J.-B. Dumas (France) appuie la proposition de M. Siemens.

M. E. Becquerel (France), *vice-président*, décrit son actinomètre électro-chimique, dans lequel les impressions variables de la rétine sont remplacées par l'action chimique de la lumière sur une couche de sous-chlorure d'argent violet. Il a constaté que l'intensité du courant électrique produit varie avec les différentes couleurs du spectre projetées sur la plaque sensible. Il a constaté que la courbe de ces intensités se rapproche beaucoup de celle de Frauenhofer. L'appareil reste comparable à lui-même pendant plusieurs jours.

M. William Siemens propose de clore la discussion en mettant aux voix la proposition de MM. Dumas, Warren de la Rue et Siemens.

M. le lieutenant-colonel Sebert (France), *secrétaire*, donne lecture de cette proposition, qui est ainsi conçue :

« 1° Le Congrès recommande au Jury l'emploi de la lampe Carcel dans les comparaisons photométriques faites entre les divers appareils de lumière électrique exposés ;

« 2° Le Congrès prie le Gouvernement français de vouloir bien se mettre en rapport avec les Gouvernements étrangers, à l'effet de nommer une Commission internationale qui serait chargée de la détermination de l'étalon définitif de lumière, et des dispositions à observer dans l'exécution des expériences de comparaison. »

La proposition, mise aux voix, est adoptée à l'unanimité.

La proposition paraît à la Section renfermer la résolution proposée par M. Rousseau au sujet de la formule photométrique, ainsi que deux propositions de MM. Webber et Belpaire.

M. Macé d'Épinay (France) demande que l'on spécifie à la Commission la comparaison des sources de teintes différentes.

La Section est d'avis que cette proposition est comprise dans la précédente.

M. E. Becquerel, *vice-président*, fait remarquer que les autres ques-

tions du programme, ne devant pas aboutir à des votes ayant un caractère international, doivent être discutées en séance publique, selon le dernier vote du Congrès.

M. Witmeur (Belgique) fait observer qu'on ne peut pas savoir sans discussion s'il y aura ou non des propositions ayant ce caractère. Ce serait en préjuger le résultat.

M. E. Becquerel, *vice-président*, dit que la Commission préparatoire avait spécifié les questions de ce genre. On y a répondu; le reste ne comporte qu'un échange d'idées.

M. Cabanellas (France) dit qu'il peut y avoir, sinon des propositions, du moins des recommandations à présenter.

M. E. Becquerel, *vice-président*, répond que rien ne s'oppose à ce qu'on les présente en séance publique.

M. Belpaire (Belgique), *vice-président*, remarque que la deuxième Section ne suit pas la même voie, et étudie en particulier les fils téléphoniques.

M. E. Becquerel, *vice-président*, dit que le départ prochain de beaucoup de membres étrangers rendrait la Section trop peu nombreuse.

M. Jablochkoff (France) fait remarquer que la question a été tranchée dans le sens indiqué par M. Becquerel.

M. le Président ajoute que d'autres membres seraient aussi enlevés à la Section par les travaux du Jury.

La Section, consultée, décide qu'elle ne se réunira plus.

La séance est levée à cinq heures cinquante minutes.

DEUXIÈME ET TROISIÈME SECTIONS RÉUNIES

PREMIÈRE SÉANCE PUBLIQUE

30 septembre 1881.

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. le Président déclare la séance ouverte à deux heures dix minutes.

M. Marcel Deprez (France) s'étant excusé de ne pouvoir assister à la séance, M. le Président donne la parole à M. Jablochkoff sur la première question : *Éclairage électrique.*

M. Jablochkoff (France) commence par faire l'historique de l'éclairage électrique. Il rappelle que c'est il y a cinq ou six ans seulement qu'on a commencé à s'en occuper sérieusement, et que la première grande voie éclairée à Paris par l'électricité a été, en 1878, l'avenue de l'Opéra. Tout d'abord l'opinion publique fut peu favorable à cet éclairage; mais, grâce à la réussite des premières expériences, les avis changèrent; les ingénieurs furent peu à peu encouragés et les inventions se multiplièrent; enfin le Congrès des électriciens a mis à son ordre du jour trois questions intéressant au plus haut degré l'éclairage électrique : 1° *Quelle est la nature de lumière à employer ?* 2° *Comment modifier l'éclat ?* 3° *Comment diminuer le prix de revient ?*

Quand on discute les questions de lumière, le plus souvent on ne pense qu'au côté économique; la question doit être traitée cependant beaucoup plus largement. L'idéal de lumière étant certainement la lumière solaire, il faut s'en rapprocher le plus possible : l'analyse spectrale montre que la lumière électrique est celle qui en arrive le plus près. Mais, dans la lumière solaire, il y a des rayons directs et des rayons diffusés; les premiers fatiguent; les seconds, au contraire, sont favorables à l'éclairage. Quand on a fait de la lumière électrique, on a voulu produire à la fois de la lumière

directe et de la lumière diffuse au moyen de l'arc voltaïque; aussi, dans les premiers temps, on voulait regarder le foyer lumineux, et l'on se plaignait d'une lumière aveuglante. On a compris aujourd'hui qu'il ne faut regarder que les objets éclairés. En même temps on a cherché surtout à produire la lumière diffuse et l'on s'est principalement occupé de l'obtenir au moyen de la division des foyers.

Selon M. Jablochkoff, en produisant une multitude de petits foyers, on recule au lieu de progresser. On peut dire, il est vrai, qu'on est habitué aux petits foyers, grâce à l'éclairage par le gaz; cependant les petits foyers ne suffisent pas, puisque l'on fait des lustres.

Pour les ateliers, il est préférable d'avoir un foyer lumineux avec une grande zone éclairée, de même que pour les grandes salles. L'éclairage des rues doit se faire également au moyen de grands foyers convenablement espacés.

Quant aux mines, l'orateur pense qu'il est plus avantageux d'avoir des lampes à flamme, qui accusent la présence du danger, que des lampes électriques. En effet, avec ces dernières, le mineur peut se trouver dans une atmosphère explosive sans le savoir, et si un charbon tombe sur la lampe et la casse, l'explosion peut se produire. (Voir Annexe I, page 368. Communication de M. Somzée remise après la séance).

Pour les magasins à poudre, ainsi que l'a fait M. Tchikoleff, en Russie, M. Jablochkoff conseille d'employer de grands foyers électriques placés à l'extérieur, et de projeter leur lumière à l'intérieur.

La question des phares paraît bien résolue.

En ce qui concerne l'éclairage des navires, il y a deux questions à considérer. L'éclairage intérieur est peu important; mais à propos de l'éclairage extérieur, il faut savoir s'il est préférable d'éclairer chaque navire puissamment, ou d'envoyer de la lumière en avant de lui. Pour chaque cas, on emploiera soit l'arc voltaïque soit la lampe à incandescence.

En résumé, il faut pour l'éclairage avoir des foyers puissants et les diffuser. Pour l'éclairage des ports et dans la généralité des cas, le problème se relie intimement à la question de la distribution des courants.

Cette question a été très étudiée par MM. Marcel Deprez et Gustave Cabanellas; il y aurait intérêt à ce qu'ils prissent part à la discussion.

M. Cabanellas (France) :

« Je remercie M. Jablochkoff d'avoir cité mon nom; j'ai en effet beaucoup à dire sur *le transport et la distribution de l'Énergie par voie électrique*. Mais M. le Président du Congrès a bien voulu, hier, porter ma communication à l'ordre du jour de la séance plénière de demain. Je dois

donc, même au seul point de vue de l'économie de votre temps, n'aborder le sujet que demain.

« En outre, je considère qu'il existe un grand intérêt et une haute convenance à ce que ma communication ait lieu en présence de M. le Ministre des Postes et des Télégraphes; car je crois être en mesure de prouver que la question, malgré le peu de bruit fait autour d'elle, est cependant arrivée à maturité, et que les grandes applications vont s'imposer à bref délai.

« Je pense en outre que, dans l'avenir, le département, déjà si important, des postes et des télégraphes sera tout indiqué en France pour centraliser et exploiter ces applications dans l'intérêt collectif.

« Ses attributions seraient alors :

« 1° Le transport et la distribution des lettres ou menus objets par voie mécanique;

« 2° Le transport et la distribution de la pensée par voie mécanique en dehors des bureaux, et par voie électrique entre les bureaux (télégraphie);

« 3° Le transport et la distribution de la pensée par la parole (voie électrique complète, téléphonie) ;

« 4° Le transport et la distribution de l'Énergie, par voie électrique complète et par un seul canal, de l'usine unique de production ou de transformation jusqu'à tous les points de consommation locale d'énergie sous toutes formes : consommation de chaleur proprement dite, de lumières diverses, d'actions chimiques, de puissances mécaniques de toutes grandeurs. »

M. Helmholtz (Allemagne). La quantité de lumière dépend-elle de la nature de la matière incandescente, comme l'a dit M. Jablochkoff? Elle est, pour une même quantité de travail, d'autant plus grande que la température du corps incandescent est plus élevée. C'est ce qui est établi par la loi, dont les termes, posés par M. Kirchhoff, servent de base à l'analyse spectrale. La quantité de couleurs que l'on distingue dans le spectre s'accroît avec la température. Sir William Thomson, qui a fait des expériences sur la lampe Swan, a démontré que le rapport de la quantité de lumière à l'intensité du courant augmente avec cette intensité. Mais pour produire un courant d'une certaine intensité, il faut augmenter le travail proportionnellement au carré de cette intensité. Cependant l'intensité de lumière produite par un fil de charbon de Swan croît plus vite que ne l'indique cette loi; elle croît comme le carré de la température. Dans les lampes Swan il semble donc que, à une haute température, il y ait volatilisation du charbon : cela est certain avec le platine et l'iridium. La lumière de

l'arc voltaïque a l'avantage que les pointes des charbons sont portées à des températures plus élevées que les conducteurs solides des lampes à incandescence ; on voit, en effet, que la lumière de l'arc est plus blanche que celle de la lampe Swan. Malheureusement la quantité de lumière produite par l'arc voltaïque n'est pas uniformément distribuée sous tous les angles ; en outre, l'arc gazeux n'est pas très lumineux.

M. Rossetti (Italie) a fait des expériences sur la chaleur rayonnante de l'arc voltaïque. Il croit avoir démontré que le pouvoir émissif des corps noirs croît avec le carré de la température absolue. Selon lui, les rayonnements lumineux et calorifiques suivent les mêmes lois. Il a trouvé que la température du charbon positif atteignait généralement 4,000 degrés, tandis que celle du charbon négatif variait de 3,000 à 3,500 degrés. Il a reconnu une très grande différence de température dans les diverses parties du charbon : les parties en contact avec l'arc produisent une plus grande chaleur et un plus grand rayonnement.

Si on augmente l'intensité du courant, la surface des charbons à haute température augmente, la chaleur et le rayonnement augmentent par conséquent, sans que la température limite varie.

Aucun membre du Congrès ne demandant la parole ni sur cette question ni sur les autres questions à l'ordre du jour, M. Mascart demande si quelqu'un pourrait donner des renseignements sur les dépôts galvaniques du nickel, du fer, etc., et demande qu'on ajoute cette question à l'ordre du jour.

Personne n'ayant demandé la parole, M. Cabanellas fait la communication suivante :

La distribution du calorique par voie électrique n'est en aucune façon incompatible avec un rendement industriel suffisant. Cette opinion peut paraître paradoxale au premier abord, mais il est facile de montrer qu'au fond elle mérite une considération réelle.

Étudions, en effet, le mode le plus usité de chauffage des appartements, en France et dans la plupart des climats tempérés : le chauffage par cheminées.

Les cheminées n'utilisent que la chaleur rayonnante du combustible ; cette chaleur est, pour le bois, les $\frac{25}{100}$, et, pour le coke, les $\frac{50}{100}$ de la chaleur fournie par le combustible.

Un quart environ de la chaleur rayonnante pénètre dans l'appartement, le reste est absorbé par les parois du foyer et perdu.

Les cheminées ordinaires n'utilisent donc, en fait, que de 6 à 12 pour 100 de la chaleur totale fournie par le combustible.

De plus, les cheminées absorbent au moins 60 mètres cubes d'air par kilogramme de combustible, ce qui constitue un appel d'air froid de l'extérieur à l'intérieur, et l'afflux d'air emporte avec lui par le tirage une proportion notable de la petite quantité de chaleur rayonnante utilisée.

Enfin, la chaleur est développée en un seul point, ce qui est un inconvénient sous le rapport de la bonne utilisation du calorique.

Considérons maintenant la distribution du calorique par voie électrique :

Quand l'Énergie sera prise sur une puissance naturelle, eau ou air en mouvement, il est clair qu'on y trouvera grand avantage ; mais, même dans le cas où il faut brûler du charbon dans une machine à vapeur, si cette machine est importante (et ce sera le cas au plus haut point), elle peut rendre 10 pour 100 de l'Énergie latente du combustible.

Or la distribution de chaleur se fait, toutes choses égales d'ailleurs, suivant un rendement supérieur au rendement mécanique proprement dit.

Par exemple, dans une exploitation distribuant la puissance mécanique au rendement de 50 pour 100 avec des machines ordinaires dont la déterminante serait de 4, la chaleur serait naturellement distribuée au rendement de 62 pour 100.

Avec un rendement calorique de 80 pour 100 on régénérerait donc la chaleur à 8 pour 100 de l'Énergie du charbon, ce qui rentre dans les conditions précitées, mais avec cette différence que cette chaleur serait distribuée, fractionnée, en autant de parties et de points distincts qu'il serait jugé utile, sans perte de rendement dans la production, et même avec gain, par suite de la meilleure assimilation à l'espace clos à chauffer. La faculté de régénérer la chaleur au sein même du milieu à chauffer rend le mode de production électrique éminemment propre au chauffage des liquides.

La même remarque s'applique à un certain degré aux cas où il y a intérêt à développer une haute température très près d'un corps sur lequel on veut agir. C'est une action qui est presque celle des scarifications, des cautérisations; le procédé électrique, permettant de disposer des appareils épousant toutes les formes, est avantageux sous ce rapport.

Je pense donc que, pour ces raisons ajoutées à celles qu'on connaît déjà, et lorsque les villes seront pourvues d'une canalisation et d'une distribution d'Énergie à domicile, par voie électrique, combinée de telle sorte que les diverses formes usuelles de consommation d'Énergie puissent trouver à la fois leur satisfaction, la consommation de la chaleur proprement dite y prendra une place sérieuse, en même temps que la consom-

mation de lumière, celle d'Énergie électro-chimique, et surtout celle de puissance mécanique appliquée à tous les ateliers, à toutes les manutentions de marchandises ou d'objets pesants, au service des pompes d'épuisement et d'incendie, aux monte-charges et ascenseurs tout à fait généralisés, et enfin à la traction du plus grand nombre des véhicules.

M. Hospitalier (France). Je demande la permission de présenter quelques observations, relativement aux chiffres donnés par M. Cabanellas :

1 kilogramme de bonne houille développe 7,000 calories, ce qui correspond à une énergie théorique totale de 2,968,000 kilogrammètres.

Une bonne machine à vapeur, brûlant 1 kilogramme de charbon par cheval et par heure, produit 270,000 kilogrammètres effectifs *sur l'arbre moteur*.

Elle transforme donc $\frac{270000}{2968000} = 9,5$ pour 100 de l'énergie théorique en travail *sur l'arbre moteur*.

En utilisant ce travail sur des machines dynamo-électriques, on transformera 80 pour 100 de ce travail en énergie électrique, soit 7,6 pour 100 de l'énergie théorique totale du charbon.

En tenant compte des résistances passives du conducteur, qui amèneront l'électricité dans la maison, de la résistance intérieure de la machine, etc., on retrouvera seulement *en pratique* de 50 à 60 pour 100 de cette énergie électrique dans les résistances utilisées en chauffage, soit de 3,8 à 4,5 pour 100 de l'énergie théorique totale du charbon dans les meilleures conditions pratiques, et non pas 8 pour 100, comme l'a indiqué l'honorable préopinant.

M. Cabanellas répond :

M. Hospitalier vient d'être conduit, par son calcul, à 9,5 pour 100 au lieu de 10 pour 100, chiffre que j'ai donné d'après les beaux travaux devenus classiques de M. Hirn.

D'après ce calcul, le chiffre de 10 pour 100 serait donc trop modéré, puisque M. Hospitalier suppose arbitrairement une dépense de 1 kilogramme par cheval et par heure, alors qu'il est bien certain que les bons constructeurs, pour les très puissantes machines à vapeur perfectionnées, ont abaissé cette dépense à 800 grammes.

Quant à l'observation de M. Hospitalier, relative à ce que deviennent ces 10 pour 100 disponibles sur l'arbre à l'usine, elle ne me paraît pas pouvoir être acceptée, car il est prouvé et admis, par toutes les personnes techniques, qu'il est facile, sur un moteur convenablement relié à la source, de recueillir une puissance mécanique égale, effectivement, aux 50 ou 60 pour 100 de la puissance disponible sur l'arbre de la machine à

vapeur, ce résultat totalisant toutes les pertes passives intermédiaires, dont dès lors il n'y a plus à s'occuper.

Or, rien qu'à un rendement purement mécanique de 50 pour 100, correspond, à la même distance de l'usine, un rendement calorique de 62 pour 100, parce qu'on utilise naturellement la consommation de calorique sur le fil intérieur du moteur, qui était inutile pour la récolte purement mécanique.

Nous voici rigoureusement arrivés au rendement calorique de plus de $\frac{80}{100}$ de 10 pour 100 ou de plus de 6 pour 100, et nous n'aurions pas besoin d'un chiffre plus élevé pour rendre parfaitement légitimes les conclusions de notre communication.

J'ajouterai qu'il sera facile d'admettre le passage de 60 à 80 pour 100 pour le rendement thermique, quand nous aurons prouvé qu'il est possible de dépasser le rendement purement mécanique de 60 pour 100, alors que le modeste rendement mécanique de 50 pour 100 assure déjà un rendement thermique de 62 pour 100.

M. le Président lit une note de M. Warren de La Rue :

« Parmi les diverses questions relatives à l'éclairage électrique, celle de la qualité de la lumière est très importante, car cette lumière ne sera pas admise dans les salons si elle produit des discordances dans la toilette des dames qui auraient un éclairage différent pour s'habiller. »

M. le Président rappelle, à ce propos, une discussion qui eut lieu en 1786, et qui est reproduite dans les mémoires de Lavoisier, lorsqu'il s'agit d'éclairer les théâtres au moyen de plafonds lumineux et de supprimer la rampe. Cet éclairage produisait des ombres sur la figure des acteurs qui s'en plaignirent tous. C'est un inconvénient que l'on retrouve lorsque l'on veut éclairer les salons par le haut au moyen de la lumière électrique. Il pense que, pour les dames et pour les toilettes, il faudra étudier la couleur et la position des foyers d'éclairage.

M. le Président annonce que l'ordre du jour de la prochaine séance publique sera affiché dans le Palais et communiqué aux journaux.

La prochaine séance aura lieu le mardi 4 octobre, à deux heures.

Ordre du jour : *Transmission des forces à distance par l'électricité.*
Applications diverses de l'éclairage électrique.
Distribution industrielle de l'électricité.
Horlogerie et chronographie électrique.
Electro-métallurgie.

La séance est levée à trois heures et demie.

ANNEXE I

COMMUNICATION DE M. SOMZÉE (BELGIQUE)

Dans les applications de l'électricité aux mines, il y a à considérer, outre les moyens de transport de force motrice, son emploi :

1° Comme instrument de travail par la lumière pour la distinction des couleurs dans les triages mécaniques ;

2° Comme moyen d'éclairage ;

3° Comme agent intervenant dans les avertissements de phénomènes naturels.

La distinction des couleurs par la lumière électrique, dans le triage mécanique, est l'objet de recherches.

On n'est pas encore fixé sur la véritable utilité de cette application de la lumière électrique. Elle dépend du reste du système de lampes électriques.

Il n'est pas encore prouvé que les becs à gaz intensitifs, tels que les becs Siemens, par exemple, ne rempliraient pas parfaitement le rôle de la lumière électrique.

Des essais se font en ce moment au charbonnage de Mariemont sous l'habile direction de M. Guinotte.

En ce qui regarde l'éclairage électrique des mines, on a commencé déjà des expériences en Angleterre ; mais nous n'en connaissons pas encore les résultats. Nous partageons l'avis de M. Jablochkoff en ce qui regarde les difficultés de l'application de l'éclairage des mines en général, quoique certaines exploitations puissent être éclairées avantageusement en quelques points, dans certains cas spéciaux.

Mais, quand il s'agit de mines de charbon grisouteux, même à un faible degré, les conditions d'économie et autres qui existent pour les charbonnages en général se modifient.

Nous pensons, dans ce cas, devoir être affirmatifs et émettre le vœu que la lumière électrique, convenablement et prudemment utilisée, soit imposée d'une manière absolue et exclusive.

Au moyen de la lampe de sûreté, le mineur peut être averti de la présence du grisou, et il sait quand il doit se retirer. Malheureusement, lorsque l'état de la flamme change d'une *façon perceptible* pour l'observateur, la proportion du grisou est déjà assez forte dans l'air pour que le moment où le mélange deviendra explosif ne soit plus bien éloigné ; car l'attention du houilleur n'est, le plus souvent, attirée que lorsque sa lampe est sur le point de s'éteindre, c'est-à-dire quand le danger est imminent.

Par l'emploi de l'éclairage électrique judicieusement appliqué, tout danger disparaît. Il reste bien l'éventualité de rupture de la lampe et de contact de conduits et l'embarras de ceux-ci ; mais je suis persuadé que ces difficultés seront facilement surmontées. L'expérience a déjà démontré, dans l'enceinte

même de l'Exposition, que les étincelles qui ont déterminé des commencements d'incendie pouvaient être absolument évitées.

Dans l'état actuel, on en a été réduit aux lampes de sûreté pour seuls avertisseurs; mais, rappelant ce que nous disions plus haut, ce qu'il faut pour la sécurité des mines, c'est qu'*avant* l'instant du danger, on puisse encore opérer un changement immédiat de la composition de l'air. Il est évident que le surveillant préposé aux ventilateurs, étant averti du moment auquel il faut augmenter l'aérage, il sera toujours possible d'éviter un accroissement de la proportion des gaz explosifs. Il ne faut pas chercher à activer trop brusquement une ventilation dont l'exagération subite ferait naître, dans beaucoup de cas, le danger qu'on veut éviter. Ce danger peut résulter de la création d'une atmosphère chargée de poussière, sous l'influence d'une faible quantité de grisou. L'accroissement progressif de la ventilation peut être pratiqué avec confiance, vu que, depuis le moment de l'avertissement jusqu'à celui où le danger est devenu réel, la proportion du grisou doit être augmentée sensiblement. On a donc toujours le temps de produire un aérage convenable et de faire circuler progressivement dans les galeries les masses d'air nécessaires pour entraîner le gaz au dehors, à mesure qu'il se dégage.

Dans cet ordre d'idées, nous avons créé divers instruments, et notamment la lampe de sûreté avertissante.

Notre but, on le voit, est de rendre cette lampe de mine plus sensible, en lui faisant enregistrer certaines phases déterminées de l'état de la flamme, et d'utiliser ensuite cette sensibilité pour produire des avertissements bien distincts, indépendants du plus ou moins d'attention de l'ouvrier.

Néanmoins, les avertisseurs n'attaquent pas la cause du mal, et, jusqu'à ce qu'on trouve le moyen d'empêcher le dégagement du grisou, ou de rendre ce dégagement inoffensif, l'éclairage électrique, par lampes closes, est indiqué. Mais il ne suffit pas de créer des avertisseurs, il faut aussi donner un programme pour les utiliser avec efficacité.

DEUXIÈME SÉANCE PUBLIQUE

4 octobre 1881

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures douze minutes.

M. TCHIKOLEFF (Russie) appelle « canalisation de la lumière électrique » un mode optique de diviser la lumière en un grand nombre de petits foyers au moyen de lentilles, de prismes et de surfaces réfléchissantes. Il insiste sur la différence entre la division de la lumière électrique par le fractionnement du courant et la division de la lumière elle-même par des moyens optiques. Il expose avec détails la disposition qu'il a fait adopter pour l'éclairage de la poudrerie d'Ochta, éclairage qui fut reconnu suffisant et sans aucun danger. Puis il passe en revue et réfute les principales objections contre l'adoption de la canalisation. Il termine en traitant la question de la quantité de lumière que l'on peut utiliser par la canalisation, et de la grandeur des pertes dans différentes circonstances.

M. LE PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu une note de M. Léopold Hugo, relative à l'emploi de la lumière électrique dans les grands ports.

M. BOISTEL (France), représentant de la maison Siemens, revendique, pour le Dr Werner Siemens, l'honneur d'avoir émis le premier l'idée du transport des forces motrices par l'électricité et de l'avoir réalisée le premier d'une façon grandiose et pratique. Il entre ensuite dans des détails très étendus sur la construction et le mode de fonctionnement de la ligne du tramway électrique qui va du Palais de l'Industrie à la place de la Concorde. Cette ligne, longue de près de 500 mètres, réunit sur ce parcours réduit, qu'il n'a malheureusement pas été permis d'agrandir, toutes les difficultés qu'on rencontre dans la pratique : rampe supérieure à 21 millimètres à l'entrée du Palais sur une courbe de 21 mètres de rayon, suivie d'une contre-courbe de rayon un peu supérieur ; courbe de 51 mètres aux

abords de la place de la Concorde. Ces nombres montrent combien peu les difficultés ont été épargnées, et cependant le tramway roule à une vitesse moyenne de 17 kilomètres à l'heure avec un chargement complet. On a même atteint, dans une expérience, la vitesse de 70 kilomètres. M. Boistel insiste sur le mode trouvé pour assurer une communication électrique parfaite entre la machine dynamo primaire et la machine du tramway, ainsi que pour permettre le retour du courant. Enfin, il détaille les trajets effectués par la voiture et termine en annonçant, pour un avenir rapproché, l'installation à Paris d'un réseau de chemins électriques.

M. LE PRÉSIDENT donne lecture de la lettre suivante, que lui adresse M. H. Fontaine (France), administrateur de la Société Gramme.

Paris, le 4 octobre 1881.

Monsieur le Président,

Empêché par le service de l'Exposition d'assister à la séance, je vous prie de faire savoir à l'assemblée que je revendique, au nom de la Société Gramme, dont j'étais alors et dont je suis encore le seul administrateur, l'honneur d'avoir fait la première expérience du transport des forces motrices par l'électricité.

C'est en 1873, à l'Exposition de Vienne, que cette expérience a été faite publiquement, au moyen de deux machines Gramme. J'actionnais l'une par un moteur à gaz, et l'autre, recevant l'électricité au moyen d'un fil conducteur de 1000 mètres, faisait fonctionner une pompe centrifuge.

Les nombreuses applications de ce principe réalisées aujourd'hui font prévoir que notre expérience a été le germe d'une nouvelle et grande industrie.

Arago a dit : « Il n'y a qu'une manière rationnelle et juste d'écrire l'histoire des sciences : c'est de s'appuyer exclusivement sur des publications ayant date certaine ; hors de là, tout est confusion et obscurité. »

Sous les auspices de ce nom illustre et à l'appui de ma revendication, j'ai l'honneur de vous adresser une publication datée de 1873, rendant compte de l'expérience précitée.

Veuillez agréer, monsieur le Président, l'hommage de mon respectueux dévouement.

FONTAINE,
Membre du Congrès international,
Président du Syndicat de l'éclairage de l'Exposition.

M. BÈDE (Belgique) vient ajouter quelques mots à la communication de M. Tchikoleff, et prend en main la défense des intérêts de la Belgique. Il donne des détails sur le mode de division de la lumière, réalisé par M. Jaspar, dont la lampe fait l'admiration des visiteurs du Palais. Il décrit aussi la lampe-soleil, à foyer dissymétrique, qui éclaire la salle des tableaux.

M. Rau (Belgique) proteste contre le terme de *division* de la lumière, employé précédemment. Pour lui, *diviser* la lumière électrique, c'est *multiplier* le nombre des foyers.

Cette protestation amène un échange d'observations entre MM. Tchikoleff, Rau et Bède.

M. Chrétien (France) défend les intérêts de la Société Gramme, à laquelle il attribue la première expérience sur le transport des forces motrices par l'électricité, expérience qui fut faite en 1873, à l'Exposition de Vienne, et qui devint le germe d'une nouvelle et grande industrie.

Il démontre les avantages de la traction électrique sur tout autre moyen de traction (traction par chevaux, par des machines à vapeur, à air comprimé, à gaz), et établit une comparaison détaillée entre ces divers systèmes. Il montre ensuite le besoin urgent, pour Paris, d'établir dans son sein un système de communications rapides qui soulage la voie publique au lieu de l'encombrer davantage, et termine en exposant en détail le système, imaginé par lui, de tramways le long des boulevards et des grandes artères. Ce système se trouve d'ailleurs exposé au Palais de l'Industrie.

M. Boistel, répondant à M. Chrétien, dit que ce qu'il revendique pour la Société Siemens, ce n'est pas la première expérience, mais bien la première mise en pratique véritable de la transmission des forces par l'électricité. D'ailleurs, pour ce qui concerne les avantages de ce mode de transmission, il partage absolument l'avis de M. Chrétien.

M. Jablockhoff (France) présente un moyen de distribuer l'électricité à l'aide d'artères terminées par des condensateurs dont l'armature extérieure communique avec le sol.

M. le Président croit être de l'avis de la majorité des assistants en proposant de terminer la séance. Il ajoute qu'il y a un point sur lequel on n'a pas assez insisté : c'est la question de l'électro-chimie. Il propose de l'inscrire au programme de la prochaine réunion publique, qu'il fixe au mardi 11 octobre, afin de permettre aux personnes compétentes de venir y prendre la parole.

La séance est levée à trois heures cinquante-cinq minutes.

TROISIÈME SÉANCE PUBLIQUE

11 octobre 1881

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures dix minutes.

La parole est donnée à M. AVENARIUS (Russie), qui fait la communication suivante :

Dans les deux dernières séances publiques, des méthodes ont été indiquées pour distribuer le courant par dérivation. Mais il s'agissait là exclusivement des courants continus, et ce n'est qu'à la fin de la dernière séance que M. Jablochkoff a dit quelques mots sur la distribution des courants alternatifs au moyen des condensateurs.

Il existe cependant certaines méthodes pour distribuer les courants alternatifs par dérivation, et il y en a une qui peut être appliquée à l'éclairage électrique ; c'est sur ces méthodes que je me permets d'appeler l'attention de l'honorable assemblée.

Soit une machine à courants alternatifs, dont les conducteurs principaux, au nombre de deux, sont réunis par une série de dérivations alimentant des bougies. On sait qu'il est bien difficile de les faire brûler toutes. Si nous prenons, par exemple, des bougies Jablochkoff, il n'y en aura qu'une seule qui brûle : ce sera la bougie ou la substance peu conductrice, interposée entre les deux charbons, qui sera échauffée le plus par le courant initial.

Pour faire brûler toutes les bougies simultanément, on peut se servir de trois procédés :

1° On peut introduire dans les dérivations des résistances égales et très considérables par rapport à la résistance d'une bougie. Si cela ne se pratique pas, c'est parce que l'emploi de ces résistances auxiliaires amène

une grande perte du courant et constitue, par conséquent, une méthode très peu économique.

2° On peut introduire des *condensateurs* dans les dérivations. Le courant ne franchira point les couches diélectriques, mais à chaque courant partiel un condensateur quelconque se trouvera chargé. Quand le courant change de signe, une décharge du condensateur a lieu : les électricités accumulées par le courant précédent viennent se recombiner, et la nouvelle phase du courant donné par la machine sera renforcée par la décharge qui s'y ajoute. Si les capacités de tous les condensateurs sont égales, les décharges seront égales aussi, toutes les bougies seront dans les mêmes conditions, et il sera possible de les faire brûler toutes à la fois.

Mais la théorie et l'expérience démontrent que pour atteindre ce but avec les machines dynamo-électriques actuelles, il faut se servir de condensateurs de capacité énorme, et par suite d'un prix très élevé. Si, en outre, l'on considère les changements que subissent les substances isolantes en usage, par suite du passage du courant, l'emploi des condensateurs se présente comme une méthode extrêmement dispendieuse. C'est pourquoi la méthode de M. Jablochkoff, toute ingénieuse qu'elle soit, pourra rencontrer des difficultés pratiques, au moins dans l'état actuel de la question.

3° Mais il existe une troisième méthode. Outre les métaux et les diélectriques on a des liquides.

Imaginons un vase rempli d'un liquide, dans lequel plongent deux lames d'un métal quelconque, c'est-à-dire ce qu'on appelle un voltamètre. Plaçons un de ces appareils dans chacune des branches 1, 2, 3 de notre système de dérivations. Quand le courant vient traverser l'une de ces dérivations, il passe par la bougie, mais en même temps il vient polariser le voltamètre, c'est-à-dire que ce dernier se charge comme si c'était un condensateur. Lorsque le courant change de sens, le voltamètre se décharge, et cette décharge s'ajoute au courant principal qui traverse la bougie. Ces décharges du voltamètre, qui se répètent à chaque alternance du courant principal, c'est-à-dire plus de cent fois par seconde, pourront maintenir l'arc voltaïque, pourvu que la charge provenant de la polarisation soit assez grande.

On atteint ce but en prenant comme électrolyte un liquide à polarisation intense et en réunissant en série un nombre suffisant de voltamètres. J'appelle *polarisateur* l'appareil ainsi construit. Il se compose de cinq à neuf voltamètres, dont le liquide est une dissolution de silicate de soude dans de l'eau et les électrodes deux plaques de charbon.

On pourrait croire que l'emploi des polarisateurs amène une perte sensible du courant, tant par suite de l'échauffement du liquide qu'à cause de sa décomposition. Mais, en arrangeant les voltamètres, on est libre de placer les lames de charbon aussi près l'une de l'autre que l'on veut, et on peut ainsi diminuer à son gré l'échauffement du liquide. Quant à la décomposition, on n'en voit aucune trace, ce qui est dû à la rapidité des alternances du courant dans les machines en usage. Donc toute la perte se réduit à l'échauffement qui pourra être rendu arbitrairement petit.

Notons enfin qu'à l'aide de polarisateurs de différente force polarisante on peut disposer à volonté la distribution du courant, tout aussi bien que si l'on se servait des condensateurs de différentes capacités.

Il y a donc une méthode pour distribuer arbitrairement un courant alternatif dans un système de dérivations. L'application de cette méthode au but de l'éclairage électrique ne rencontre aucune difficulté. Je m'en suis assuré par de nombreuses expériences, que j'ai exécutées d'abord en Russie et récemment dans les laboratoires de la Société générale d'électricité (procédé Jablochkoff), grâce à la bienveillance de l'administration de cette Société et surtout de MM. les professeurs Jamin et Joubert.

M. Parod (France) monte à la tribune et expose le système de canalisation de l'électricité, dont un spécimen figure au Palais de l'Industrie :

Vous connaissez l'importance du problème du transport de l'électricité et de sa canalisation ; je n'ai donc pas besoin de m'étendre sur ce sujet, mais ce que je revendique hautement, c'est l'honneur d'avoir le premier signalé l'importance de ce problème, et proposé un moyen rationnel et pratique de le résoudre ; moyen qui s'appuie sur la substitution de conducteurs nouveaux aux anciens fils et câbles de transmission.

Ces câbles, en effet, sont tout à fait insuffisants ; ils ne peuvent transmettre un courant à quelque distance sans une énorme déperdition, par suite de l'influence de l'électricité ambiante, qui tend toujours à se recombiner avec l'électricité de nom contraire des câbles et à la neutraliser. Il en résulte qu'au fur et à mesure que l'on s'écarte de la source d'électricité, la tension diminue dans ces fils, et que l'on ne peut faire aucune dérivation directe du courant sans nuire à la première prise.

Depuis, plusieurs systèmes ont été proposés, s'appuyant sur l'emploi des fils ordinaires. On a proposé la création d'usines centrales pour alimenter tout un quartier de ville, mais là ne peut être la solution cherchée, car ces usines employant forcément des moteurs à vapeur ne pourront produire le fluide au meilleur marché possible et la nature des fils de distribution ne changeant pas, on ne pourrait porter le courant à quelque distance qu'en

augmentant la tension et par conséquent en augmentant la dépense de force motrice, la déperdition du courant, et en compromettant la sécurité des consommateurs.

Je dois faire remarquer ici que la première idée d'accumuler l'électricité dans une matière étrangère aux lames conductrices m'appartient en propre par droit de priorité.

Cette disposition d'armatures accumulatrices équivaut, par le fait, à l'adjonction, à mon condensateur conducteur, d'accumulateurs détachés; et en fait il y a avantage à employer ces sortes d'accumulateurs pour recueillir l'électricité dégagée par les usines dynamo-électriques pendant les heures où la consommation est nulle ou à peu près.

A cet effet, une batterie accumulatrice séparée du condensateur conducteur est mise en communication avec lui et en reçoit l'électricité fournie en excès de la consommation, une autre batterie pleine est également mise en communication avec le conducteur réservoir au moyen d'un appareil automatique réglant la tension de manière que lorsque cette tension dépasse un certain maxima dans le condensateur, le trop-plein s'écoule dans la batterie vide et la charge, et que, dans le cas contraire, la batterie pleine verse son courant dans le condensateur pour y rétablir la tension de règle.

La force des usines peut être ainsi réduite de près de $\frac{1}{6}$, puisque la consommation est nulle pendant quatre heures environ et que les usines peuvent fonctionner pendant ce temps sans augmentation de frais généraux.

Mon invention est basée sur des principes bien établis et constitue donc un système de canalisation véritable que j'ai créé de toutes pièces et au moyen duquel est résolu complètement non seulement le problème du transport et de la distribution des forces naturelles, mais aussi celui de la division de la lumière et de tous les effets électriques et doit amener à bref délai la vulgarisation des applications de l'électricité par la commodité et le bon marché.

Je revendique donc l'honneur d'avoir présenté le premier système de canalisation de l'électricité et d'avoir fourni des moyens pratiques et rationnels de le réaliser par l'emploi de conducteurs réservoirs analogues aux conduites d'eau et de gaz. Je revendique également la priorité de l'invention des masses accumulatrices en matières étrangères aux lames conductrices.

Ma pensée ne s'est pas arrêtée longtemps à l'idée d'accumulateurs portatifs, il n'y avait et il n'y a encore d'avenir pour ces appareils qu'autant que la canalisation de l'électricité sera réalisée; et je n'avais pas encore

le moyen de maîtriser dans mes conducteurs réservoirs cette force terrible accumulée. Des brevets récents sont venus compléter mon invention et je suis maître de régler exactement la tension dans mes conducteurs réservoirs par le chargement et le déchargement automatique, au moment voulu, des masses accumulatrices, par le réglage automatique de la distribution dans les prises, par la mise en marche ou l'arrêt automatique des usines ou des générateurs d'électricité.

Maintenant donc, messieurs, préparez-vous à décupler vos moyens de production, faites des machines dynamo ou magnéto-électriques, il n'y en en aura jamais assez; faites des accumulateurs et répandez-les dans toutes les habitations; nous les chargerons à domicile avec de l'électricité à bas prix; faites des moteurs, des fils de transmission et des appareils de toute sorte, le règne de l'électricité est arrivé et la grande révolution commence.

M. Latchinoff (Russie) présente la théorie des machines dynamo-électriques sans fer et fait connaître les résultats auxquels il a été conduit par ses recherches sur ce sujet.

M. Latchinoff, se basant sur l'identité des électro-aimants et des solénoïdes, démontre la possibilité de construire une machine *dynamo-électrique sans fer*. Cette machine aurait la propriété singulière de posséder une vitesse déterminée, parfaitement indépendante de la force qui l'actionne. Cette vitesse unique ne dépend que de la construction de la machine et de la résistance totale du circuit; elle est proportionnelle à cette dernière. Si l'on quadruple le travail appliqué à la machine, le courant devient double de ce qu'il était, mais la vitesse ne varie pas. L'intensité du courant est donc proportionnelle à la racine carrée du travail absorbé par la machine. L'orateur prouve ces deux lois par des formules empruntées à la théorie des machines *dynamo-électriques*, qu'il serait trop long de reproduire ici.

Pour réaliser une machine sans fer de quelque valeur, il faut rapprocher autant que possible l'inducteur de l'induit. Pour cela M. Latchinoff enroule le fil inducteur sur un cylindre (en ébonite) parallèlement aux génératrices de ce dernier, de manière à produire deux pôles linéaires vis-à-vis l'un de l'autre. Dans l'intérieur de ce cylindre il introduit une bobine Siemens enroulée sur de l'ébonite. Cette bobine se trouve donc enveloppée de tous cotés par les spires de l'inducteur, et les courants sont engendrés dans les meilleures conditions.

Une fois arrivé à cette forme l'orateur propose de l'appliquer à des machines *dynamo-électriques avec fer*. Pour cela on n'aurait qu'à substi-

tuer le fer à l'ébonite; on obtiendrait alors une machine de dimensions très restreintes et d'une forme très régulière, qui pourrait présenter certains avantages dans plusieurs applications.

L'orateur appelle ensuite l'attention du Congrès sur l'unité d'énergie, correspondante à l'Ampère et au Volt[1] et égale à 10^7 *ergs*. Cette unité se présentant presque dans tous les calculs et n'ayant pas de nom spécial, M. Latchinoff pense qu'il y aurait lieu de recommander à la *commission des unités électriques* de choisir un nom pour l'unité en question.

M. le Président invite ensuite M. Bouilhet à prendre la parole sur les progrès accomplis en galvanoplastie dans ces dernières années.

M. Henri Bouilhet rappelle en commençant que, le 25 novembre 1841, il y a près de quarante ans, M. Dumas, l'illustre président de cette séance, dans un rapport mémorable, annonçait à ses collègues de l'Académie des sciences l'invention des procédés d'argenture et de dorure électrochimiques et entrevoyait l'avenir brillant réservé à cette industrie.

M. Charles Christofle eut l'honneur de réaliser ces promesses, et créa une importante industrie dont les résultats ont même dépassé les prévisions les plus favorables.

Aujourd'hui, la quantité d'argent employé en dépôt galvanique n'est pas moindre de 25,000 kilos à Paris seulement, et les différents pays producteurs enlèvent à la circulation une quantité d'argent qui peut être évaluée à 125,000 kilos, un peu plus de 25 millions de francs.

Les services rendus au point de vue économique sont considérables; au point de vue artistique, ils ne le sont pas moins. Les œuvres importantes exécutées par MM. Christofle en sont la preuve.

Les procédés galvaniques ont donné naissance à des moyens nouveaux de décoration. M. Bouilhet décrit et donne des détails techniques sur quelques-uns de ceux qui ont été trouvés ou perfectionnés dans l'usine de MM. Christofle.

Le dépôt des alliages du cuivre et du zinc, du cuivre et de l'étain, c'est-à-dire du laiton et du bronze, de l'or et de l'argent, de l'or et du cuivre, c'est-à-dire de l'or vert et de l'or rouge, fournissent aux mains de l'artiste une véritable palette de décorateur.

De l'or et de l'argent déposés en épaisseur dans les traits d'une gravure profonde, permettent de renouveler les merveilles de la damasquine orientale, et de rivaliser avec les bronzes, colorés d'une manière si charmante et si délicate par les artistes japonais.

1. Travail nécessaire pour élever un coulomb au potentiel d'un volt.

La galvanoplastie rend aussi aux beaux-arts d'éminents services, en permettant l'exécution fidèle et économique des œuvres de la statuaire.

Les statues des plus grandes dimensions comme des plus petites peuvent être exécutées par les procédés de la ronde bosse. En 1858, M. Lenoir eut l'idée d'une anode insoluble en platine, mais ce procédé n'eut de valeur réelle que lorsque MM. Christofle, avec l'aide de M. Gaston Planté, substituèrent au platine l'anode en plomb, qui avait tous ses avantages sans aucun de ses inconvénients.

Une œuvre galvanoplastique est-elle durable?

A cette question l'examen du métal produit est la meilleure réponse. Il est chimiquement pur; homogène, sa densité est de 8,86, constatée par Jacobi; résistant, des expériences de Bareswill prouvent qu'il résiste à un effort de 20 atmosphères, lorsque le cuivre fondu rompt sous un effort de 12; ces trois qualités de pureté, d'homogénéité, de résistance, prouvent sa durée certaine.

Le dépôt du nickel a aussi été notablement perfectionné chez MM. Christofle. Des échantillons de clichés en nickel et de planches gravées en nickel, doublés de cuivre galvanoplastique, montrent une voie nouvelle et intéressante pour le dépôt de ce métal.

La composition des bains ammoniacaux a été longtemps discutée, et M. Adams attribuait le succès du dépôt de nickel à l'absence de la potasse et de la soude.

C'est une erreur; les sels de ces bases ne nuisent pas à l'opération, s'ils sont à l'état neutre; et le seul moyen de faire de beaux dépôts de nickel, c'est d'opérer dans des bains aussi neutres que possible.

Une des raisons qui ont ramené le dépôt de nickel en faveur et qui ont rendu son emploi économique, c'est l'emploi des machines Gramme, qui, diminuant de beaucoup les frais de la production du courant, ont rendu de grands services à l'industrie électro-chimique.

C'est dans l'usine de MM. Christofle que M. Gramme a réalisé la première application industrielle de ses machines, et ses calculs étaient si précis, que la première machine construite par lui sur la demande de MM. Christofle, marchant à 300 tours, déposait 600 grammes d'argent à l'heure, dans les conditions même du problème qui lui avait été posé.

Le dépôt de l'argent qui, déposé par la pile, coûtait 5 francs le kilogramme, est descendu au prix de 0,94 cent. par l'emploi des machines Gramme. Le progrès réalisé par ces machines a été considérable, et il a semblé utile de rappeler aujourd'hui, à l'occasion du Congrès des électriciens,

qu'il y a dix ans que MM. Christofle ont aidé à la réalisation de cet important progrès.

A la suite de cette communication, M. LE PRÉSIDENT adresse des remerciements à M. Bouilhet et fixe au mercredi 19 octobre la prochaine séance, où seront entendues les personnes qui n'ont pas encore pu prendre la parole.

La séance est levée à trois heures quarante-cinq minutes.

QUATRIÈME SÉANCE PUBLIQUE

19 octobre 1882

PRÉSIDENCE DE M. J.-B. DUMAS

M. LE PRÉSIDENT déclare la séance ouverte à deux heures dix minutes. La parole est donnée à M. Feuquières sur l'électro-métallurgie.

M. FEUQUIÈRES fait connaître par quelle suite d'événements il est parvenu à fonder sa méthode.

Il rappelle que c'est en expérimentant la pile Daniell que Jacobi fit cette découverte, et qu'il compléta son œuvre en métallisant ses moules avec la plombagine.

On fait encore aujourd'hui le métal aussi défectueux qu'il y a quarante ans. Dans la crainte de perdre l'échantillon type qu'il nous a donné, on n'ose pas s'en écarter.

Ne voyant dans la galvanoplastie qu'une application de l'électricité, l'orateur s'est éloigné de cette méthode.

La pile de Daniell se prêtait merveilleusement à ses besoins; il s'attacha plus particulièrement à cette pile, parce qu'elle est peu coûteuse, très facile à manier, d'une constance régulière; et, de plus, on pouvait obtenir deux produits à la fois, la dépense de l'acide et du zinc se trouvant largement compensée par la production.

Le cuivre, réduit par cette pile, reproduisait fidèlement les objets, mais il était aigre et cassant; de plus, l'orateur avait pris note que, suivant qu'il gouvernait son électricité, il obtenait dans le même bain un oxyde ou un métal.

M. Feuquières prépara un liquide *ad hoc* et se servit comme anode d'un morceau de cuivre dit rosette, de première qualité, et d'un échantillon de cuivre produit par sa pile, et pour cathode d'un fil de platine. Au bout de quelques heures, la surface de ses deux cuivres était à vif, ce

qui lui permit de faire la comparaison. Il gouverna son électricité jusqu'à ce que la différence ne fût plus appréciable. A ce moment, son métal était bien supérieur à son échantillon de cuivre rosette, tant comme pureté que comme densité. C'est en faisant cette expérience qu'il découvrit qu'il n'y avait que deux formes moléculaires, la forme sphérique pour les liquides, et triangulaire pour les solides.

Il explique comment il comprenait et comprend encore la théorie de Daniell. Voici le vase poreux contenant le zinc et l'acide sulfurique; ensuite le vase qui l'entoure contenant la feuille de cuivre et le sel en dissolution. Selon Daniell, c'est la réduction du sel en métal et la décomposition du zinc par l'acide qui produit l'électricité; pendant que, selon lui, l'électricité est produite par la décomposition de l'acide par le zinc: c'est cette électricité qui réduit le sel à l'état métallique sur la feuille de cuivre, ce qui est bien différent.

« J'avais déjà utilisé, dit-il, ma pile comme bain simple; au lieu de mettre une feuille de cuivre, j'avais mis des moules qui, bientôt recouverts de métal réduit par l'action électro-chimique du zinc et de l'acide, me donnèrent une pile complète. Je préparai un autre bain et me servis de cette pile, suivant la théorie de Daniell; j'attachai mon anode aux pièces de ma pile et mes moules au zinc (bain composé); j'obtenais déjà un kilog. de cuivre par cinq cents grammes de zinc; s'il y avait eu courant, je n'avais qu'à mettre des bains les uns au bout des autres, j'aurais produit du métal; il n'en fut rien. J'eus alors l'idée de mettre cinq autres bains isolés et de faire de même que pour le premier, de manière à utiliser tout ce que je pourrais d'électricité; le succès fut complet: je dorais dans l'un, je produisais de l'argent dans l'autre et du cuivre dans les trois derniers; toutes mes pièces furent exécutées avec la même pile et en même temps, encore n'avais-je utilisé que l'hémisphère de son intensité; les galvanomètres ne disaient plus rien et les théories des physiciens tombaient d'elles-mêmes; si je traduisais la mesure électro-métrique donnée par la théorie, voyez combien l'erreur serait grande. Elle donne en poids 500 grammes de cuivre réduit par 500 grammes de zinc dissous, tandis que moi je trouve, pour 500 grammes de zinc dissous, 3 kilog. 500 grammes de métal réduit, et si c'eût été de l'argent ou de l'or, le poids serait autrement considérable, ces métaux se réduisant plus facilement; vous le voyez, j'ai bien fait d'abandonner les courants et les mesures électro-métriques dont ils sont la base.

« Bien convaincu maintenant que c'est le zinc, l'eau et l'acide qui produisent l'électricité, il me fallut les étudier tant pour leur action sur le

zinc que pour la composition des bains ; c'était très important pour régler l'action électro-magnétique dans les dissolutions métalliques ; je me mis à refaire les expériences de la décomposition de l'eau ; je trouvai à peu près les mêmes résultats. Mais si j'employais ma méthode, je trouvais que le gaz dit oxygène est un gaz hydraté, que le gaz dit hydrogène est un autre gaz hydraté et que l'eau est un élément complètement distinct : cela est d'autant plus important que l'eau et l'acide sont les principaux agents de l'électro-métallurgie.

« Je vais maintenant vous parler des conducteurs ; il est certain que je vais encore me trouver en contradiction avec la coutume. Pour moi, c'est une longue pratique qui m'a démontré que le métal le meilleur et le plus rapide conducteur de l'action électro-magnétique est le laiton, c'est-à-dire 100 kilog. de cuivre rouge pur pour 10 à 12 kilog. de zinc de première qualité (première fusion). Étirés à un ou un demi-millième de diamètre, et légèrement recuits au rouge sombre, ces conducteurs ne me servent qu'à suspendre mes pièces et à les mettre en contact avec le zinc, le plus directement possible, ce qui est facile ; les traverses de mes cuves étant en bois, j'utilise ainsi immédiatement toute mon électricité. J'ai rejeté les conducteurs en ruban, ils me faisaient perdre trop d'électricité. Lorsque je veux une action plus rapide, je tortille trois fils ensemble et j'obtiens d'excellents résultats.

« Pour les bains, j'avais depuis longtemps renoncé aux formules ; dans la pratique, elles changent d'un instant à l'autre, ma seule préoccupation a toujours été l'électricité ; pourvu que l'eau, les sels, les oxydes et les acides employés soient d'une grande pureté, le bain une fois fait doit toujours fonctionner ; j'en ai un depuis 1854, il marque 38° au pèse-sels, tout en ne contenant qu'un pour cent de sel de cuivre ; il me donne toujours du métal de première qualité.

« Je n'avais d'autre système de moulage que le plâtre et la cire, ce dernier mode est encore celui qui donne le plus de finesse ; c'est avec la cire qu'ont été moulés, d'après les pierres fines, ces jolis camées que vous voyez ; on ne peut mouler les objets naturels qu'avec le plâtre, sans cela ils se déformeraient. J'ai poussé l'amour du vrai jusqu'à chloroformer de petits animaux pour les mouler vivants ; il est vrai qu'il faut être pour cela habile mouleur. Il n'y a que la métallisation à l'argent qui convienne à ces deux sortes de matières, la promptitude d'exécution étant nécessaire pour ne pas laisser aux bains le temps d'altérer les moules.

« Il rappelle qu'il exécuta en 1855 un haut-relief de Michel-Ange et un grand bas-relief de Jean Goujon, en galvanoplastie pleine, de deux milli-

mètres d'épaisseur; un grand vase de la Villa d'Albani, des plats, des fruits, des petits animaux moulés sur nature.

C'est aussi par ses procédés qu'il exécuta, en 1861, les chevaux, grandeur nature, qui ornent l'archivolte de la porte de l'ancien manège du Louvre (cour Caulaincourt), en moins de trois mois, tout cuivre résonnant.

On connaît le cuivrage des candélabres en fer de la ville de Paris, cuivrés par l'usine d'Auteuil (système Oudry); ce genre de cuivrage n'est pas adhérent; les pièces sont d'abord couvertes d'un enduit préservatif, puis plombaginées et cuivrées. L'orateur présentait à la Marine, tant pour les blindages que pour les ferrures et projectiles, des pièces en fer cuivré directement et parfaitement adhérent. Il poussa l'expérience jusqu'à cuivrer un tube en fer préalablement recuit; il le fit étirer chez M. Gueldry; au premier étirage les deux métaux se suivirent, mais au deuxième la différence de densité se fit sentir; ils se séparèrent en s'arrachant l'un l'autre, laissant des lambeaux de cuivre sur le fer et de fer sur le cuivre, tant l'adhérence était complète. L'orateur dit que c'est une grande erreur de croire que le fer cuivré fait pile lorsqu'il est immergé dans l'eau de mer; il n'en est rien; si le cuivrage est adhérent, l'action électro-chimique est nulle; mais s'il est simplement recouvert, ayant un élément étranger entre les deux métaux, le fer se détruit rapidement. On a immergé dans la mer des pièces des deux systèmes après en avoir mis à vif de certaines parties. Au bout de deux mois, les ayant retirées, les siennes étaient intactes, les autres formaient tubes; l'intérieur était presque complètement détruit.

Lorsqu'on dépose un métal sur un autre par l'électricité, il se produit toujours une action électro-magnétique locale qui en facilite le dépôt; dès que celui-ci est complètement recouvert, cette action cesse, ce qui fait que dorer et faire de la galvanoplastie d'or est bien différent.

Les procédés de MM. Elkington et Ruolz sont bienvenus comme hygiène, mais, comme beauté et qualité, ce genre de dorure n'atteindra jamais la perfection des autres procédés, à cause du cyanure de potassium qui en est la base. Il répéta plusieurs fois l'expérience suivante: il composa suivant les formules Elkington et Ruolz un bain d'or au cyanure avec deux grammes d'or; il dora avec ce bain des pièces préalablement pesées; les ayant repesées après la dorure, elles avaient augmenté de deux grammes cinq déci, et le bain dorait toujours; il constata à l'analyse qu'elles contenaient du potassium; naturellement, dès que ce métal est évaporé, les pièces transsudent, la dorure s'altère rapidement, et les dépôts d'or n'ont aucune cohésion.

Il en est de même du platine. Ce métal est sans contredit le meilleur comme recouverture avec les autres procédés que le cyanure.

L'orateur a inauguré à l'Exposition de 1878 un alliage de cuivre et de platine; ces bains sont difficiles à faire pour pouvoir conduire l'électricité, ces deux métaux ne se comportant pas de la même manière.

Les dépôts d'argent par les bains au cyanure sont moins défectueux que les précédents, ce métal n'ayant pas besoin de la même action électro-magnétique que les deux autres; mais il l'est suffisamment pour ne pouvoir servir pour le plaqué; son adhérence est incomplète; il ne peut supporter plusieurs laminages ni les recuits nécessaires pour cette opération; il ne peut non plus s'émailler. M. Feuquières rappelle qu'avec ses procédés il a déposé un gramme d'argent sur une plaque de cuivre d'un kilogramme et d'un centimètre d'épaisseur. MM. Griset et Schmidt, fabricants de plaqué, ont laminé cette plaque jusqu'au cinquante millième d'épaisseur; ayant subi six recuits, l'adhérence était telle que les deux métaux n'en formaient plus qu'un.

Je réduis le fer, dit l'orateur, comme tous les autres métaux de toutes ses dissolutions. Il y a plus de vingt ans (1860), en faisant des expériences pour obtenir un fer pur en poussière impalpable, espérant que, dans ces conditions, il serait plus assimilable et pourrait être utilisé comme médicament, je remarquai que tout en produisant un métal parfait en apparence, il était, suivant la composition du bain, rebelle à la trempe, à l'émail et au poli, ou bien encore, au lieu d'être négatif, il s'oxydait rapidement. En faisant une de ces expériences, ayant disposé mes pièces d'une façon particulière, il se produisit ce phénomène bizarre: au fur et à mesure que le fer se déposait sur le moule en cire, l'anode devenait magnétique et attirait le métal réduit par petites paillettes brillantes, ce qui rendait le dépôt impossible et me donna beaucoup d'inquiétude; mais, en même temps, je découvris que tous les métaux, dans le travail de la réduction électro-chimique, étaient plus ou moins magnétiques. J'avais suffisamment étudié ce métal pour le produire avec facilité et en faire une application industrielle et artistique.

M. Feuquières raconte ensuite ses relations avec Jacobi, et rappelle que c'est grâce à l'honorable président, M. Dumas, grâce à son impartialité et à sa bonté, que ses travaux sont restés français.

Vers la fin de 1864, il découvrit la réduction du tungstène; ayant été chargé de faire l'analyse d'un morceau d'acier, pour savoir s'il contenait vraiment de ce métal, il la fit par son procédé électro-chimique. La brisure irrégulière de cet échantillon présentait une cristallisation anormale,

noirâtre, semblable à de la mauvaise fonte ; il était très dur ; à l'analyse, il donna du fer, du carbure de fer et du tungstène, en petite quantité, il est vrai, mais suffisante pour changer la texture cristalline de l'acier et le rendre plus dur.

Il voulut se servir de son procédé pour extraire le fer du liquide qui lui avait servi ; les deux métaux se déposèrent ensemble ; le tungstène à l'état d'oxyde et le fer à l'état de métal : la découverte était faite. Il prépara un bain spécial, le succès était complet ; mais le bain n'est pas stable, il s'altère rapidement. Le métal réduit est d'un gris perle entre l'acier et le fer ; il n'a aucun aspect artistique ; en poudre, sur une planchette, il attaque l'acier le plus trempé ; il s'oxyde promptement à l'eau ; mais, avivé à sec, il se conserve longtemps ; des échantillons faits en 1878 ne sont pas altérés. En projetant de sa poudre sur le fer en fusion, il le rend plus dur que l'acier et change sa texture cristalline ; comme le carbone, il ne forme pas un métal homogène ; forgé au coke ou au charbon de terre, il s'altère ; il résiste mieux au charbon de bois ; un jour l'industrie pourra en tirer un grand parti.

Le nickel se réduit aussi facilement que l'argent. Quoique employé depuis longtemps dans l'industrie pour la fabrication du métal blanc, il n'y a guère que cinq ans qu'il a pris une certaine extension ; sa couleur argentine, sa dureté, son poli et son bon marché l'ont appelé à remplacer l'argenture pour un grand nombre d'objets usuels, continuellement touchés, pour lesquels l'argenture était d'un prix trop élevé. Le nickel, réduit par sa méthode, est homogène, sonore, très ductile, pouvant se battre et se laminer ; son aspect est plus blanc, sa nature moins oxydable que par les autres procédés. Malheureusement son aspect n'a rien d'artistique ; même avec une certaine patine, il est loin d'approcher du fer et de l'argent ; il sera peu employé dans les arts. Moins dur que le fer, plus facile à réduire, on l'emploie en ce moment pour les clichés.

Désireux de donner à ce métal un emploi artistique, il songea à l'allier au fer par sa méthode électro-chimique ; le succès fut complet ; en effet, ce métal peut tenir sa place avec le fer et l'argent ; sa valeur artistique est doublée ; il a aussi allié le nickel avec le cobalt qui, seul, ne peut être utilisé pour les arts ; cet alliage est plus dur que le nickel pur et son aspect est plus doux ; avivé, il ressemble à de l'acier poli, il donne à la lumière de jolis effets, ce qui permettra de l'utiliser pour la décoration intérieure.

La galvanoplastie d'aluminium a été aussi trouvée. On réduit aussi facilement ce métal que les autres métaux. Sa poudre remplace avantageusement celle de l'argent ; elle est aussi blanche et ne s'oxyde pas ; elle

peut être employée pour le décor, l'encadrement et l'imprimerie. L'orateur a eu l'idée, vu son prix, d'allier ce métal avec l'étain : le succès répondit à ses espérances ; cet alliage, d'une blancheur éclatante, remplacera le nickelage et l'argenture; il se dépose facilement sur tous les métaux; M. Feuquières a récemment déposé du bismuth, mais ce métal n'a aucun aspect artistique.

M. Parod ajoute quelques mots à la communication qu'il a faite à la dernière séance et rappelle qu'il est à la disposition de toutes les personnes qui désireront examiner son mode de canalisation électrique.

L'ordre du jour étant épuisé, M. le Président prononce la clôture des séances publiques du Congrès international des électriciens.

CONFÉRENCE

DE M. LE PROFESSEUR AYRTON

F. R. S. de Londres

DE L'USAGE ÉCONOMIQUE DES MOTEURS A GAZ

POUR LA PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

Le trait le plus caractéristique et le plus frappant de l'exposition actuelle consiste, sans contredit, dans les nombreux exemples pratiques de la transmission de l'énergie au moyen de l'électricité. Non seulement on voit des outils pour le travail des métaux, des bois et de la pierre, des charrues, des voitures, etc., mis en mouvement loin des moteurs, mais on compte à peine le nombre infini d'appareils pour l'éclairage électrique qui se trouvent dans ce palais. Ces nouveaux moyens d'éclairage sont jusqu'à présent les applications les plus importantes de la transmission électrique de l'énergie à distance.

Sans doute vous avez beaucoup entendu parler des machines dynamo qui produisent le courant électrique et vous avez examiné avec un bien vif intérêt la nombreuse collection de ces machines qui se trouvent ici et qui suffiraient seules à donner à cette exposition une grande valeur pratique. Mais tandis que les électriciens s'occupent des différences qui existent dans les diverses machines dynamo-électriques et des perfectionnements qui peuvent s'effectuer, l'ingénieur-mécanicien doit donner la plus minutieuse attention aux modifications ou aux perfectionnements que l'on peut apporter dans la construction des machines servant à actionner ces appareils électriques.

Il faut renoncer à la possibilité de créer l'énergie électrique par des fils et des aimants. Aucune invention humaine ne peut accomplir plus que la conversion de la puissance contenue dans le charbon, les substances chimiques, la marée ou le vent, etc., en énergie électrique.

Par exemple, dans cette exposition, toutes les machines dynamo-électriques ne font que transformer en énergie électrique les puissances contenues dans le charbon et convertir de nouveau l'énergie électrique en puissance mécanique. Bien que l'homme ne puisse créer cette énergie, les moyens pratiques qu'il a inventés pour la transformation ont été considérablement améliorés pendant ces dernières années.

Tant que l'éclairage de nos grandes villes s'effectuait par le gaz, la fabrica-

tion de ce gaz à bas prix était une des questions les plus importantes, mais maintenant qu'il y a une probabilité pour que ce système d'éclairage soit remplacé par l'éclairage électrique, la considération qui nous intéresse le plus n'est pas l'extraction du gaz éclairant de la houille, mais l'emploi de la réserve d'énergie fournie par ce dernier pour faire tourner à grande vitesse les machines dynamo-électriques nécessaires à la production du courant pour la lumière électrique. Dans tous les moteurs ayant pour base la chaleur, soit la machine à vapeur, la machine à air chaud ou le moteur à gaz, la puissance calorifique du charbon est d'abord convertie en chaleur, puis en mouvement mécanique. Il s'ensuit que l'extraction économique de la chaleur du charbon et son emploi efficace est le fondement de l'éclairage électrique industriel.

Actuellement on emploie principalement des moteurs à vapeur pour actionner les machines dynamo-électriques, mais il est avéré que même avec les meilleures machines et chaudières, il y a une consommation excessive de combustible en comparaison du travail actuel réalisé. A la séance de l'Association Britannique pour l'avancement des sciences, qui a eu lieu récemment à York, le président de la section pour la science mécanique, sir William Armstrong, a dit dans son excellent discours : « Prenant, par exemple, une bonne machine à condensation, on peut dire hardiment que si on divise en dix parties égales la puissance totale de la chaleur provenant du combustible, il y a deux de ces parties qui s'échappent par la cheminée, une qui se perd par le rayonnement et le frottement, six qui ne sont pas utilisées lorsque la vapeur est détendue, et *une* seulement dont on réalise le travail effectif ; » et il a ajouté : « On peut admettre que la plus grande partie de la perte totale est inévitable, mais peut-on admettre que l'on a épuisé toutes les ressources de la science, du talent et de l'habileté, en arrivant à un aussi maigre résultat? Il n'y a que des changements radicaux qui puissent amoindrir sensiblement cette perte énorme ». Il n'y a là aucune exagération d'effet et si l'on peut parler ainsi d'une bonne machine à condensation d'une grandeur considérable, que dirait-on d'une petite machine d'un type ordinaire ?

On peut citer d'autres autorités compétentes, mais j'aime mieux supposer qu'il est admis maintenant, en général, que la consommation du combustible est complètement disproportionnée avec le rendement obtenu.

La raison principale d'un rendement aussi inférieur, c'est que, même dans les meilleures machines à vapeur, nous ne pouvons nous servir que de la vapeur à une température peu élevée. On peut démontrer que même s'il était possible de construire une machine fonctionnant sans frottement et dont la chaudière et le cylindre seraient recouverts d'une substance absolument calorifuge, de sorte qu'il n'y ait pas de chaleur perdue, la proportion de la chaleur utilisée à la quantité totale de la chaleur contenue dans la vapeur au moment de son entrée dans le cylindre s'exprimerait par la formule $\frac{S-T}{S+273}$, où S est la température de la vapeur en degrés centigrades au moment d'entrer dans le cylindre, et où T est la température de la vapeur après la condensation. De là il suit que, avec les températures dont on peut se servir dans les machines à condensation, le rendement même d'une machine imaginaire sans frottement et ne perdant pas de calorique par la conductibilité, le rayonnement, etc., ne dépasse pas deux dixièmes ou deux fois seulement le rendement d'une bonne machine à vapeur moderne. C'est-à-dire qu'une bonne machine de grandeur considérable utilise seulement un dixième de la chaleur totale, et qu'il n'est pas possible

d'utiliser plus que deux dixièmes avec une machine d'un mécanisme parfait, en supposant dans les deux cas que la température de la vapeur qui entre dans le cylindre soitt la même, aussi bien que la température après la condensation.

La formule $\frac{S-T}{S+273}$ nous montre que le seul moyen d'augmenter l'efficacité est d'augmenter S, la température de la vapeur. M. Perkins a cherché à réaliser ce but et avec d'assez bons résultats, dans ses machines à très hautes pressions, mais il y a plusieurs difficultés pratiques à surmonter, et notamment la question d'une lubrification et d'un entretien économiques. En outre, comme vous le savez très bien, la pression de la vapeur est rapidement augmentée lorsque la température s'élève, et il s'ensuit que pour arriver à la haute température nécessaire pour obtenir un grand rendement, il faut que la pression de la vapeur soit considérable.

La démonstration la plus récente du fonctionnement réel des grandes machines à vapeur se trouve dans un mémoire soigneusement préparé par M. F. C. Marshall, qui a été lu à Newcastle, dans une des dernières séances de l'Institut des ingénieurs mécaniciens. Dans ce mémoire, on donne les statistiques de trente-neuf navires à vapeur qui avaient des machines composées et qui faisaient des voyages de long cours, et pour lesquels on peut supposer que l'on a cherché à diminuer le plus possible la consommation du charbon. Il paraît que, en moyenne, la force indiquée de chaque navire était de 1450 chevaux, et que la consommation moyenne de combustible était de 900 grammes par cheval indiqué, ce qui donnerait environ un kilogramme par cheval effectif et par heure. Je ne sais si jamais on se servira ou non d'aussi puissantes machines pour des stations centrales de services électriques, mais à présent, au moins, ce n'est guère probable. A part beaucoup d'autres considérations, il y a une objection capitale à n'employer qu'un seul grand moteur pour éclairer tout un quartier par l'électricité : si ce moteur s'arrête pour n'importe quelle raison, ce quartier se trouverait plongé dans une obscurité complète.

Enfin, jusqu'au jour où l'on emploiera une si grande force, les électriciens ne doivent pas baser leurs calculs sur le rendement que l'on peut obtenir avec de telles machines. A présent, on se sert ordinairement des machines du type locomobile pour les services électriques, et récemment en Angleterre, dans un concours où ont fonctionné plusieurs des meilleures machines de ce type, on a réalisé une consommation de combustible d'environ $1^k,8$ par cheval et par heure.

Comme il s'agissait d'un concours et de prix à remporter, rien n'était négligé pour être dans les conditions les plus favorables : les feux étaient conduits par des chauffeurs expérimentés, les chaudières étaient neuves et propres. Ce n'est pas ce qui a lieu dans le travail ordinaire de tous les jours, et il est permis de dire que $2^k,5$ à $2^k,7$ représentent plus exactement la consommation usuelle, surtout quand les chaudières ont fonctionné pendant quelques mois ; ceci donne un rendement d'un trentième seulement.

La formule $\frac{S-T}{S+273}$ pour le rendement est vraie pour toute substance, sans tenir compte de la pression exercée par cette substance lorsqu'elle est chauffée : de là, puisque la pression de l'air, à des températures élevées, est beaucoup moindre que celle de la vapeur, il s'ensuit que l'on obtient un plus grand rendement avec une machine à air chaud qu'avec une machine à vapeur, en supposant que la force du cylindre soit la même dans les deux cas. Mais la machine

à air chaud a un grand inconvénient, c'est qu'il est très difficile d'empêcher les lubréfiants d'être brûlés et la machine d'être abîmée par la chaleur, parce que la chambre qui contient l'air doit être aussi chaude, sinon plus chaude que l'air, puisque la température de l'air est élevée au moyen d'un foyer extérieur.

Le seul autre moteur qui puisse servir pour les besoins électriques (à part les machines activées par le vent ou la puissance hydraulique) est le moteur à gaz. Dans ce dernier, on obtient la force par l'admission dans le cylindre d'un mélange détonant d'air et de gaz, et le piston est mis en mouvement par l'explosion produite par ce mélange.

Une des grandes différences entre la machine à air chaud et le moteur à gaz, c'est que dans ce dernier type de moteurs la haute température développée par l'explosion est produite dans l'intérieur du cylindre et non dehors, de sorte que, malgré la haute température des gaz au moment de l'explosion, on peut refroidir le cylindre, le piston et empêcher les lubréfiants de se dessécher au moyen d'un courant d'eau froide. Ce refroidissement salutaire est impossible dans la machine à air chaud, l'air étant chauffé de l'extérieur. De plus le mélange d'air et de gaz entre dans le moteur à une basse température. Après l'explosion, il y a abaissement rapide de la haute température développée, parce que le piston fonctionne avant que les gaz aient le temps de communiquer beaucoup de leur chaleur au cylindre ou au piston. Avec la vapeur, au contraire, on ne peut d'abord s'en servir à une très haute température sans être obligé d'avoir recours à des appareils d'une extrême résistance; il faut tenir compte aussi de la grande déperdition de chaleur au passage de cette vapeur très chaude à travers les tuyaux et les valves, lesquels seraient aussi rapidement détériorés par une chaleur excessive. On voit donc qu'avec un moteur à gaz, on peut se servir de la haute température nécessaire pour obtenir un grand rendement, sans rencontrer les difficultés pratiques qui ont empêché l'emploi des machines à vapeur ou à air chaud travaillant à de très hautes températures.

En se servant de la formule $\frac{S-T}{S+273}$ pour déterminer quel serait le rendement d'un moteur à gaz, s'il n'y avait pas de perte de chaleur par la conductibilité et le rayonnement, il faut prendre S comme la température moyenne après l'explosion, et on peut la supposer d'environ 2500 degrés centigrades, correspondant à la température d'environ 180 degrés centigrades qu'avait seulement la vapeur, au commencement de la course du piston, dans une machine à vapeur à condensation ordinaire. La température T à laquelle les produits de la combustion sortent du moteur est à 200 degrés centigrades environ, tandis qu'elle est de 60 degrés centigrades environ dans la machine à vapeur à condensation. Donc, avec les températures dont on se sert à présent, le rendement d'un moteur à gaz pourrait atteindre environ $\frac{2500-200}{2500+273}=75$ pour 100, si on pouvait éviter toute perte par la conductibilité, et le rayonnement aussi bien que par le frottement. Dans une machine à vapeur à condensation, le plus grand rendement qu'il est possible de réaliser avec les températures usuelles ne saurait dépasser environ $\frac{180-60}{180+273}=20$ pour 100.

A ce grand rendement théorique donné par le moteur à gaz, et basé direc-

tement sur les lois thermodynamiques, il faut ajouter l'absence du fourneau et de la cheminée nécessaires pour la chaudière qui augmentent la perte effective de la chaleur par la conductibilité et le rayonnement.

On voit donc qu'en pratique le moteur à gaz travaille dans des conditions beaucoup plus *efficaces* qu'une machine à vapeur ou à air chaud. C'est-à-dire que la quantité pour cent de chaleur que le moteur à gaz peut convertir en travail mécanique est beaucoup plus considérable que lorsqu'on emploie les deux autres systèmes de machines. Il faut aussi considérer maintenant l'*économie* dans le fonctionnement, qui dépend beaucoup du prix des combustibles employés et des autres frais.

Il n'y a pas lieu d'examiner cette question en détail pour ce qui est de la machine à air chaud, puisque l'on n'est pas encore arrivé à faire marcher pratiquement une machine de ce genre d'une force un peu considérable. Dans les tableaux I et II on trouvera un devis comparatif des frais de fonctionnement d'une machine à vapeur et d'un moteur Otto, en supposant que chaque moteur donne une force effective de 30 chevaux, et qu'ils fonctionnent pendant 300 journées de 10 heures.

Dans ce calcul, on a compté le prix de revient du gaz de houille à 15 centimes seulement le mètre cube (moitié du prix à Paris). On voit que malgré cela et malgré le plus grand rendement théorique du moteur à gaz, les frais de fonctionnement, lorsqu'on se sert du gaz ordinaire, ne sont pas moindres que pour la machine à vapeur, même après avoir tenu compte du charbon dont on se sert avant et après le travail. Mais le gaz ordinaire de la houille n'est pas fabriqué en vue du chauffage, c'est plutôt pour l'éclairage et, dans ce but, on a dû recourir à des moyens de fabrication et d'épuration qui, bien que perfectionnes, n'en sont pas moins très coûteux. Aussi quand on se sert de ce gaz pour actionner un moteur, c'est le détourner complètement de l'emploi auquel il était destiné; il n'y a donc pas lieu d'être surpris de trouver que les frais pour le fonctionnement d'un moteur avec le gaz d'éclairage sont loin d'être aussi bas que l'on pourrait le supposer, en considérant seulement les calculs sur le rendement théorique du moteur à gaz.

Le moteur à gaz, actionné par le gaz d'éclairage, est dans la même situation que se trouvait, il y a quelques années, le moteur électrique destiné à convertir la force électrique en force mécanique. Le moteur électrique est, sans doute, une machine très efficace, mais le combustible qu'on brûlait pour produire l'électricité était encore récemment le zinc, d'un prix par conséquent si coûteux que l'on devait renoncer à l'emploi des moteurs électriques pour les besoins industriels. Donc, lorsque le seul moyen de produire les courants électriques était l'oxydation du zinc dans les batteries galvaniques, il était impossible à ceux qui s'occupaient de produire la force et l'éclairage par l'électricité de réussir. Dès que l'on a eu trouvé le moyen, comme à présent, de se servir des machines dynamo-électriques pour produire les courants électriques par la combustion du charbon, qui est un combustible bon marché, l'éclairage électrique et la transmission électrique de l'énergie ont pris une place importante dans le monde industriel.

Si on essaye de brûler le gaz d'éclairage, même à 15 centimes le mètre cube, pour actionner les moteurs à gaz, leurs frais de fonctionnement ne sont pas inférieurs à ceux des machines à vapeur. Mais si on peut fabriquer, pour ce service, un gaz de chauffage à bon marché, le résultat économique devient tout autre, et on peut faire marcher de petits moteurs à gaz, non seulement à moins

de frais que des machines à vapeur de la même force, mais on peut produire la force à un prix plus bas qu'avec les plus grandes machines à vapeur construites jusqu'à ce jour.

L'hydrogène est le gaz qui, en brûlant, peut donner la plus haute température et l'on a cherché bien des moyens d'en produire à un prix modéré. On sait, depuis longtemps, que lorsqu'on fait passer la vapeur d'eau dans un tube en fer chauffé au rouge, la vapeur se décompose dans ses éléments constitutifs, l'hydrogène et l'oxygène. On voit ce résultat dans l'expérience que je fais, où la vapeur entre par un bout du tube, et où l'on remarque qu'un jet d'hydrogène sort à l'autre extrémité; mais cet hydrogène est produit aux dépens du tube en fer qui s'oxyde par cette opération. C'est même cette oxydation du fer qui permet à l'hydrogène de la vapeur d'eau de se séparer de l'oxygène. En effet, pour produire l'hydrogène de cette façon, il faut brûler non seulement du charbon pour chauffer le tube et la cornue, mais il faut brûler aussi le fer, et je n'ai pas besoin de vous dire que le fer est un combustible beaucoup trop cher pour l'emploi industriel. Ce moyen abandonné, on a essayé de produire l'hydrogène industriellement en chargeant une cornue de charbon, pour que l'oxygène puisse se combiner avec le carbone au lieu de se combiner avec le métal. Pratiquement, on a trouvé que l'affinité du fer chauffé au rouge pour l'oxygène est si grande, que l'on ne pouvait empêcher l'oxydation du fer de se produire, entraînant fatalement la destruction rapide des cornues. Le chauffage de ces cornues revenait, en outre, très cher; plus tard, on s'est servi de cornues garnies de terre réfractaire en supprimant le feu extérieur. Le charbon, dans la cornue, était porté au rouge par une soufflerie d'air, et l'on faisait passer ensuite un courant de vapeur d'eau à travers le combustible incandescent. Pendant quelques minutes, la vapeur se décomposait rapidement, mais bientôt la température du feu baissait, il fallait arrêter l'introduction de la vapeur et activer la soufflerie d'air. Le fonctionnement était intermittent et la qualité du gaz produit présentait de grandes variations.

Le docteur Siemens et d'autres ont produit du gaz pour les fours au moyen du passage d'un courant d'air seul ou d'air additionné d'un peu de vapeur, au travers d'un foyer. Si on surchauffait le gaz et l'air nécessaire à sa combustion, on obtenait de très bons résultats. Néanmoins, ce gaz contient trop d'azote (60 à 70 pour 100) pour servir aux moteurs et aux besoins qui ne demandent que du gaz en petites quantités : aussi ces appareils sont-ils grands et coûteux.

M. Dowson, de Londres, a perfectionné un appareil générateur dans lequel il fait arriver de la vapeur d'eau, sous pression, avec une quantité déterminée d'air, et il obtient ce résultat au moyen d'une disposition qui rappelle celle d'un injecteur de machine à vapeur. L'air, ainsi entraîné dans le générateur, suffit à maintenir dans la colonne de combustible, au travers de laquelle passe la vapeur, une température élevée, sans feu extérieur, de manière que la décomposition de la vapeur et les autres réactions chimiques s'effectuent sans interruption. Le fonctionnement du générateur est donc régulier, et le gaz se produit sans fluctuations dans la qualité. Le modèle exposé représente l'appareil dont je parle et a la moitié de la grandeur nécessaire pour produire 28 mètres cubes à l'heure.

Le générateur se compose d'un cylindre vertical en fer muni d'une garniture épaisse de terre à four ou autre matière réfractaire, comme dans un cubilot de fonderie, afin d'éviter les pertes de calorique et l'oxydation du métal. Au fond du cylindre se trouve une grille sur laquelle repose le feu : sous cette grille une

chambre close où arrive le jet de vapeur surchauffée. La vapeur est produite et surchauffée dans un serpentin en zigzags alimenté par de l'eau provenant soit de l'extérieur, soit d'un réservoir surélevé, soit d'une pompe à main avec accumulateur. Excepté pour la première mise en train, le serpentin est chauffé par du gaz tiré de la cloche, et lorsque le brûleur au-dessous du serpentin est allumé, il ne demande plus de soins. Quand il est nécessaire de ne pas avoir de composés de soufre ou de l'ammoniaque, comme dans les moteurs à gaz, etc., il est préférable de se servir d'anthracite pour chauffer le générateur. On ne peut employer les charbons de Mons, etc., que quand le gaz sert à chauffer directement une chaudière, un fourneau, etc. Pour produire un mètre cube de ce gaz, il faut environ 142 centimètres cubes d'eau et 200 grammes de charbon, en évaluant à 8 ou 10 pour 100 les impuretés et les pertes.

J'ai ici un échantillon de ce gaz, et approximativement il se compose de: hydrogène, 20 pour 100 ; carbone monoxyde (CO), 30 pour 100 ; carbone bioxyde (CO^2), 3 pour 100 ; et azote 47 pour 100 en volume. Dans ce gaz, il n'y a ni goudron ni ammoniaque, et la proportion de bioxyde de carbone est si faible, qu'elle ne diminue pas sensiblement le pouvoir calorifique ; et, comme vous le voyez, il brûle sans fumée, et aucun dépôt de suie ne se forme sur l'objet à chauffer, qu'il soit placé au-dessus ou au milieu de la flamme même. Ce gaz a environ 50 pour 100 de gaz combustibles, et le pouvoir calorifique, ou nombre de calories produites par la combustion d'un mètre cube, est 1,558,358. L'intensité calorifique de ce gaz est de 2.268 degrés centigrades. Pour comparer ce gaz avec le gaz de houille ordinaire, on peut dire que les calories produites par la combustion d'un mètre cube de ce dernier sont 5.590.399 et que son intensité calorifique est de 2,544 degrés.

Ces calculs démontrent que théoriquement le pouvoir du gaz de houille est environ 3,5 fois plus grand que celui du gaz Dowson ; mais, malgré cela, on verra dans l'expérience que je vais faire avec l'eudiomètre que c'est un gaz qui peut très bien servir pour actionner un moteur basé sur des explosions de gaz, aussi bien que pour toute espèce de chauffage. Dans les moteurs Otto, on mêle avec le gaz de houille une grande proportion d'air pour que l'effet de l'explosion continue pendant la course du piston, et puisque le gaz Dowson demande moins d'air pour sa combustion, il arrive alors que, dans le même cylindre, on ne trouve pas plus d'azote avec le gaz Dowson et son mélange d'air qu'avec le gaz de houille et la grande quantité d'air qu'il faut lui donner. C'est-à-dire qu'on peut développer presque la même force dans le moteur avec les deux gaz en proportionnant exactement les orifices pour l'arrivée du gaz et de l'air.

La force explosive comparative des deux gaz, calculée de la manière usuelle, est de 3,4 à 1, c'est-à-dire que le gaz de houille a 3,4 fois plus d'énergie que le gaz Dowson, mais parce que la combustion du carbone monoxyde s'effectue plus lentement que celle de l'hydrogène carburé, parce que les diluants présents dans le cylindre opèrent sur le gaz faible plus que sur le gaz de houille en pratique on donne 5 volumes de gaz Dowson pour un volume de gaz de houille dans le moteur Otto.

Dans le tableau III, on a donné tous les frais de fonctionnement d'un moteur à gaz Otto, actionné par le gaz Dowson, et donnant une force effective de 30 chevaux pendant 300 journées de 10 heures chacune. On peut donc comparer exactement ces frais avec ceux qui se trouvent dans les tableaux I et II pour la machine à vapeur et le moteur à gaz actionné par le gaz de houille. Ces chiffres montrent qu'un moteur, actionné par le gaz Dowson, coûte environ 45 pour 100

moins que la machine à vapeur et 53 pour 100 moins que le gaz de houille, lorsqu'on prend ce dernier au prix très bas de 15 centimes le mètre cube; on a compris dans chaque devis : l'entretien, la dépréciation et l'intérêt sur le capital engagé. Mais le trait le plus frappant dans ces tableaux est qu'une machine à vapeur qui consomme $2^k,5$ par cheval effectif à l'heure demande 235 000 kilogrammes pour développer la même force de 30 chevaux que l'on réalise avec un moteur actionné par 63 000 kilogrammes convertis en gaz par le procédé Dowson. Ceci représente une économie dans le poids du combustible de 73 pour 100 environ.

Il y a une autre considération pratique : c'est que, pour le gaz de houille, il faut de $3^k,6$ à 4 kilogrammes de charbon pour chaque mètre cube; mais le gaz Dowson n'exige que 190 grammes pour produire un mètre cube, et en multipliant ce chiffre par 5 pour avoir l'équivalent du gaz de houille, on a 950 grammes contre $3^k,6$ à 4 kilogrammes. Il ne faut donc que 24 à 27 pour 100 du poids du charbon nécessaire au gaz de houille, et, pour les endroits éloignés des centres houillers, cette différence permet de réaliser sur les frais de transport des économies sensibles.

De plus, un résultat de grande importance a été constaté à la suite des expériences sur les moteurs : c'est qu'un petit moteur de 4 chevaux actionné par le gaz Dowson a gagné la force effective d'un cheval, en ne consommant que la quantité de gaz produite par 888 grammes de charbon, y compris 10 pour 100 pour les impuretés et les pertes de ce dernier. On est arrivé à ce résultat par le calcul suivant : pour un moteur de 4 chevaux, il faut une consommation de 800 litres par cheval effectif et par heure, et, multipliant ces 800 litres par 5, pour le gaz Dowson, on a 4 mètres cubes, et puisqu'un kilogramme de charbon produit $4^{mr},5$ effectifs (après avoir compté le gaz qui sert à chauffer le surchauffeur), on a $\frac{4,0}{4,5} = 888$ grammes par cheval effectif et par heure.

Avec les moteurs de plus grande force, la perte par les frottements de la machine est diminuée proportionnellement, et la consommation de gaz par cheval est moindre ; ainsi avec un moteur qui donne environ 20 chevaux, il faut 700 litres de gaz de houille par cheval et par heure, et multipliant ces 700 litres par 5 pour le gaz Dowson, on a 3,5 mètres cubes qui donnent une consommation de 777 grammes $\left(\frac{3,5}{4,5}\right)$ au cheval effectif à l'heure.

Les tableaux I, II et III montrent les frais de fonctionnement pour des moteurs donnant une force de 30 chevaux effectifs, et cette force doit presque suffire pour les 400 lampes incandescentes de Swan que nous voyons dans cette salle. Donc, en ce qui concerne la force motrice, y compris les gages du chauffeur, l'entretien du matériel, l'intérêt du capital, etc..., avec un moteur Otto actionné par le gaz Dowson, on peut faire une économie de 4255 francs sur la machine à vapeur, ou 5800 francs sur le moteur Otto activé par le gaz de houille à 15 centimes le mètre cube, en travaillant pendant 3000 heures.

Mais avec le gaz de chauffage à bas prix, on peut non seulement faire une économie dans la force motrice pour l'éclairage électrique, mais on peut aussi se servir de ce gaz pour les besoins domestiques et industriels, pour la cuisine, le chauffage, etc. Et pour ce service, il n'y aura pas besoin d'un nouveau système de tuyauterie, parce que les tuyaux qui servent maintenant à porter le gaz d'éclairage peuvent servir au gaz de chauffage lorsque la lumière électrique aura pris la place du gaz éclairant.

On a vu que ce gaz brûle sans fumée, et que lorsque je tiens un morceau de porcelaine ou de métal au-dessus ou au milieu de la flamme même, il n'y a aucun dépôt de carbone. Donc en se servant de ce gaz dans les quartiers où il y a beaucoup de fabriques et où on se sert beaucoup de charbon de terre, on peut éviter la perte et l'effet nuisible provenant de la fumée dont l'absence fait actuellement un des charmes de Paris.

Comparaison des frais de fonctionnement de moteurs faisant la force effective de 30 chevaux pendant 300 journées de travail de 10 heures chaque.

TABLEAU I.

MOTEUR A VAPEUR (TYPE LOCOMOBILE)

Pour chaque cheval effectif, il faut au moins 3 kilogrammes de charbon, sans compter le charbon brûlé à la montée en pression et après le travail. Les frais de fonctionnement sont :

Charbon = 30 × 2,5 × 3000 = 225 000 kilogrammes + 10 000 kilogrammes pour la consommation avant et après le travail = 235 000 kilogrammes à 25 francs par 1000 kilogrammes	5,875 fr.
Eau pour la machine	200 »
Huile pour la machine à 0 fr. 40 par jour × 300	120 »
Gages du chauffeur à 5 francs par jour × 300	1,500 »
Entretien et dépréciation de la chaudière et du moteur (10 pour 100 sur 12,000 francs)	1,200 »
Intérêt du capital (5 pour 100 sur 12,000)	600 »
Total	9,495 fr.

TABLEAU II.

MOTEUR A GAZ (OTTO), ACTIONNÉ PAR LE GAZ DE HOUILLE

Pour un moteur de 30 chevaux effectifs, il faut une dépense de gaz de 700 litres par cheval à l'heure, donc pour 30 chevaux pendant 3000 heures, il faut 30 × 700 × 3000 = 63 000 mètres cubes à 0 fr. 15 le mètre cube

	9,450 fr.
Huile pour la machine 0 fr. 50 par jour × 300	150 »
Proportion des gages du surveillant, nettoyage, etc., soit 1 franc par jour × 300	300 »
Entretien et dépréciation du moteur (5 pour 100 sur 12,000 francs)	600 »
Intérêt du capital (5 pour 100 sur 12,000 francs)	600 »
Total	11,100 fr.

TABLEAU III.

MOTEUR A GAZ (OTTO), ACTIONNÉ PAR LE GAZ DOWSON

Avec un moteur Otto, il faut 5 volumes du gaz Dowson pour donner la même force qu'un volume de gaz ordinaire, donc il faut du gaz Dowson 30 × 700 × 5 × 3000 = 315 000 mètres cubes. Les frais de fonctionnement sont :

Anthracite pour produire 315 000 mètres cubes de gaz (à 200 grammes le mètre cube, y compris 10 pour 100 pour les impuretés et les pertes) = 63 000 kilogrammes à 30 francs les 1000 kilogrammes . .	1,890 fr.
Huile pour la machine à 0 fr. 50 par jour × 300	150 »
Gages du chauffeur à 5 fr. par jour × 300.	1,500 »
Entretien et dépréciation du moteur (5 pour 100 sur 12,000 francs) et du générateur, gazomètre, etc. (5 pour 100 sur 5,000 francs.	850 »
Intérêt du capital (5 pour 100 sur 17,000 francs)	850 »
Total.	5,240 fr.

Économie dans les frais de fonctionnement en faveur du gaz Dowson sur la vapeur, 45 pour 100.

Économie dans les frais de fonctionnement en faveur du gaz Dowson sur le gaz de houille à 15 centimes le mètre cube, 53 pour 100.

Économie dans le poids du combustible en faveur du gaz Dowson et un moteur à gaz sur la machine à vapeur qui demande $2^{kg},7$ de charbon par cheval effectif à l'heure ; cette économie est comme 63 000 est à 235 000 kilogrammes, soit 73 pour 100.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

Rapport au Président de la République 1

Décrets 4

Loi portant ouverture au Ministre des Postes et des Télégraphes d'un crédit de 300,000 francs pour l'Exposition internationale d'électricité et le Congrès international des électriciens 6

Liste des membres du Congrès 17

COMPTES RENDUS DES TRAVAUX DU CONGRÈS

SÉANCES PLÉNIÈRES

Première séance. — 15 septembre 27
Deuxième séance. — 20 septembre 39
Troisième séance. — 21 septembre 40
Quatrième séance. — 24 septembre 54
Cinquième séance. — 28 septembre 68
Sixième séance. — 1er octobre 78
Septième séance. — 5 octobre 146

SÉANCE DES SECTIONS ET DE LEURS COMMISSIONS

PREMIÈRE SECTION

Première séance. — 16 septembre 161
Deuxième séance. — 17 septembre 166
Troisième séance. — 19 septembre 175
Quatrième séance. — 20 septembre 199
Cinquième séance. — 21 septembre 204
Sixième séance. — 22 septembre 207

COMMISSION DES UNITÉS ÉLECTRIQUES

Première séance. — 16 septembre 221
Deuxième séance. — 17 septembre 229

Pages

Troisième séance. — 19 septembre 241
Quatrième séance. — 21 septembre 245

COMMISSION DE L'ÉLECTRO-PHYSIOLOGIE

Première séance. — 22 septembre 251
Deuxième séance. — 23 septembre 258

DEUXIÈME SECTION

Première séance. — 16 septembre 265
Deuxième séance. — 17 septembre 270
Troisième séance. — 19 septembre 277
Quatrième séance. — 22 septembre 285
Cinquième séance. — 23 septembre 289
Sixième séance. — 27 septembre 294
Septième séance. — 28 septembre 301

COMMISSION DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES

Première séance. — 19 septembre 305
Deuxième séance. — 20 septembre 310
Troisième séance. — 21 septembre 316
Quatrième séance. — 22 septembre 321
Cinquième séance. — 24 septembre 326
Sixième séance. — 27 septembre 330

TROISIÈME SECTION

Première séance. — 16 septembre 331
Deuxième séance. — 17 septembre 335
Troisième séance. — 19 septembre 342
Quatrième séance. — 22 septembre 351
Cinquième séance. — 23 septembre 357

DEUXIÈME ET TROISIÈME SECTIONS RÉUNIES

Première séance publique. — 30 septembre 361
Deuxième séance publique. — 4 octobre 370
Troisième séance publique. — 11 octobre 373
Quatrième séance publique. — 19 octobre 381

CONFÉRENCE DE M. LE PROFESSEUR AYRTON 388

Paris. — Imp. A. Quantin, 7, rue Saint-Benoît. [1904]

A LA MÊME LIBRAIRIE :

L'ÉLECTRICIEN

REVUE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ

Comité de Rédaction : MM. C.-M. Gariel, A. Niaudet, Dr de Cyon

Secrétaire de la Rédaction : M. Delahaye

L'Électricien paraît depuis le 15 avril 1881, le 1er et le 15 de chaque mois dans le format grand in-8° ... figures dans le texte. — Prix de l'abonnement annuel, Paris et départements : 20 fr.

LA NATURE

Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie

Journal hebdomadaire illustré. — *Rédacteur en chef :* M. Gaston Tissandier

Le journal *la Nature* est l'histoire faite au jour le jour, et cependant toujours vraie, du mouvement de science ; toujours au courant du mouvement scientifique, fidèle à la mission qu'il s'est tracée : *vulgariser la science sans la rendre vulgaire*, ce recueil répond à un besoin d'une époque où la science est partout et progresse chaque jour. Il s'adresse à tout le monde, aux savants, aux gens du monde, à la jeunesse.

La Nature paraît tous les samedis par livraisons de 16 pages grand in-8° jésus, richement illustrées et ... une couverture imprimée. Chaque année de la publication forme 2 beaux volumes grand in-8°. — Prix de l'abonnement annuel : Paris, 20 fr.; Départements, 25 fr.

LES PRINCIPALES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

PAR M. E. HOSPITALIER

Ingénieur des Arts et Manufactures.

2e édition entièrement refondue. 1 vol. grand in-8°, imprimé sur beau papier, avec 135 figures dans le texte et 4 planches hors texte.

Broché, 10 fr.; relié avec luxe, tranches dorées, fers spéciaux, 13 fr.

CAUSERIES SCIENTIFIQUES

Découvertes et inventions. — Progrès de la science et de l'industrie

PAR HENRI DE PARVILLE

L'ÉLECTRICITÉ EN 1881

(EXPOSITION DE PARIS)

1 vol. in-18 avec 200 gravures dans le texte, 6 fr.

LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ ET LE MAGNÉTISME

PAR M. E. MASCART

Professeur au Collège de France, Directeur du bureau central météorologique

ET

PAR M. J. JOUBERT

Professeur au collège Rollin

Phénomènes généraux et théorie. 1 vol. grand in-8° avec figures dans le texte : 20 fr.

Le tome II (applications) paraîtra dans le courant de 1883.

TRAITÉ D'ÉLECTRICITÉ STATIQUE

PAR M. MASCART

Paris, 1876. — 2 vol. grand in-8° avec 298 figures, 30 fr.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

Leçons faites à l'Administration centrale des télégraphes à l'usage des auxiliaires, surnuméraires agents des postes et des télégraphes, des écoles de télégraphie militaire et de toutes les personnes qui désirent acquérir des notions de télégraphie électrique

PAR M. E. MERCADIER

Inspecteur des études et Professeur à l'École supérieure de télégraphie

Répétiteur à l'École polytechnique

1 vol. in-18 avec 158 figures dans le texte, 3 fr. 50.

MANUEL D'ÉLECTROMÉTRIE INDUSTRIELLE

PAR M. R.-V. PICOU

Ingénieur des Arts et Manufactures

1 vol. in-8° avec 37 figures dans le texte (*Publication du Génie civil*), 5 fr.

GUIDE DES ÉPREUVES ÉLECTRIQUES

A FAIRE SUR LES CABLES TÉLÉGRAPHIQUES

PAR VALDEMAR HOSKIAR

Colonel du corps du génie danois.

Traduction de la seconde édition anglaise, par A.-L. Ternant. In-16 avec 11 figures dans le texte.

5 francs.

Paris. — Typ. A. Quantin.